

Berichte
aus dem
Institut für Meereskunde
an der
Christian-Albrechts-Universität

Nr. 78

DIE VERFÜGBARE POTENTIELLE ENERGIE
DES PLANETARISCHEN WIRBELS UND
IHRE JÄHRLICHE VARIATION

von

Hans-Georg Ebbrecht

DOI 10.3289/IFM_BER_78

Kopien dieser Arbeit können bezogen werden von

Institut für Meereskunde
Abteilung Maritime Meteorologie

Düsternbrooker Weg 20
D 2300 Kiel 1

ISSN 0341-8561

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
	Seite
1. Einleitung	1
2. Datengrundlage	2
3. Theoretische Grundlagen zur Berechnung der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z	5
3.1. Definition der verfügbaren potentiellen Energie	5
3.2. Der Gleichgewichtszustand $(\phi + E)_e$ der Referenzatmosphäre	6
3.3. Die totale potentielle Energie $(\phi + E)$ des aktuellen atmosphärischen Zustandes und die totale potentielle Energie des Referenzzustandes der Atmosphäre	7
3.4. Die verfügbare potentielle Energie A	8
3.5. Die Zerlegung der Energiegröße A in A_z und A_E	9
3.6. Integrationsverfahren für A_z	13
3.7. Die Haushaltsgleichung für die zonal verfügbare potentielle Energie A_z	16
3.8. Der Energiezyklus nach LORENZ in Tropo- und unterer Stratosphäre	19
3.8.1. Der troposphärische Energiezyklus	19
3.8.2. Der Energiezyklus in der unteren Stratosphäre und die energetische Koppelung mit der Troposphäre	20
4. Ergebnisse der Untersuchung	22
4.1. Diskussion der monatlichen Variation der Verteilung der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in einem mittleren Meridionalschnitt (Mittel über 10 Jahre)	22
4.2. Die Gesamtmenge an zonal verfügbarer potentieller Energie A_z enthalten in der gesamten Atmosphäre (1000 bis 10 mb) und ihre Variation im Jahresablauf	57
4.3. Der Jahresgang von A_z für die einzelnen Monate des Jahres und separat für meteorologisch sinnvoll gewählte Stockwerke der Atmosphäre	86

4.4. Jahresgang der Menge von A_z innerhalb der drei Hauptluftmassenbereiche (Polarluftbereich (PL), Bereich der gemäßigten Luft (ML), Tropik- luftbereich (TL)) der Troposphäre der Nordhalb- kugel	97
5. Zusammenfassung	101
6. Literaturverzeichnis	106
7. Danksagung	107

1. EINLEITUNG

Die vorliegende Untersuchung systematischer Natur über den energetischen Gehalt der zonal ausgerichteten Grundzirkulation der Atmosphäre (Planetarischer Wirbel) versucht, eine Lücke in der genauen Kenntnis über diese Zirkulation, welcher alle stehenden oder fortschreitenden Störungen (Wellen und Wirbel) aller Größenskalen überlagert sind, zu schließen. Das Hauptziel der Untersuchung besteht in einer möglichst exakten quantitativen Bestimmung der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z und ihrer Veränderlichkeit im Ablauf des Jahres, welche aus dem zeitlich und über die geographische Länge gemittelten Temperaturfeld der Atmosphäre berechnet werden kann. Nicht nur Summenwerte dieser Energieform für die gesamte Atmosphäre der Nordhemisphäre und für das Jahr oder getrennt für die vier Jahreszeiten bzw. für die zwölf Einzelmonate des Jahres sollen nach einer Bestimmung von zwölf mittleren meridionalen Querschnitten (φ, p) der Energieform A_z durch eine vertikale Integration derselben und entsprechende Zusammenfassung der Ergebnisse berechnet werden, sondern es wird auch angestrebt durch eine entsprechende Integration über passend gewählte Breitenzonen bzw. vertikale Teilstücke der Atmosphäre, die meteorologisch interessierenden Unterschiede in diesen einzelnen Teilbereichen sowohl innerhalb der Troposphäre als auch in der unteren Stratosphäre quantitativ aufzuzeigen. Die bearbeitete Energieform A_z ist deshalb von so überragendem Interesse für die Meteorologie, da sie ständig durch ein korreliertes Zusammenspiel des mittleren meridionalen Feldes der nicht adiabatischen Erwärmung (Strahlungsbilanz, Grenzflächen-erwärmung und latente Kondensationswärme in der Hauptsache) mit dem mittleren Temperaturfeld erzeugt und aufrecht erhalten wird und dann dieses so erzeugte Energiereservoir durch Energieumwandlung als Quelle für die Bewegungsenergie (kinetische Energie) dient.

Darauf wird später noch in einem eigenen Kapitel über die theoretischen Grundlagen für die Berechnung noch näher eingegangen werden. Es sollen aber vorerst die Datengrundlagen für die Untersuchung im folgenden Abschnitt erläutert werden.

2. DIE DATENGRUNDLAGEN FÜR DIE VORLIEGENDE UNTERSUCHUNG

Als Grundlage für die Untersuchung dienten zwölf mittlere meridionale Querschnitte der Lufttemperatur separat für jeden Monat des Jahres. Diese Schnitte erstrecken sich vom Äquator bis zum Nordpol und vom Erdboden aufwärts bis zu 10 mb-Fläche (ca. 30 km Höhe). Sie wurden durch Fr. DEFANT (1972) hergestellt und die darin eingehenden Mittelwerte der Lufttemperatur beruhen auf folgenden Datensätzen:

1. Monatsmittelwerte und Jahresmittelwerte der Lufttemperatur T , der Taupunkttemperatur τ sowie der geopotentiellen Höhe ϕ für alle Radiosondenstationen der Nordhalbkugel (insgesamt 252 Stationen) und für alle Standard-Druckflächen aufwärts bis zur 100 mb-Fläche ohne Bodenwerte (siehe WMO, OMM - No. 170 T.P.84; 1965). Diese Veröffentlichung enthält über 10 Jahre gemittelte Werte für die Dekade 1951 bis 1960.
2. Diese monatlichen Mittelwerte wurden für jede Standard-Druckfläche separat und für die Monate Januar, Februar und März in hemisphärische Karten eingetragen und einer sorgfältigen synoptischen Analyse unterzogen (Fr. DEFANT, 1969). Diesen Analysen wurden anschließend Gitterwerte der Temperatur für alle $2,5^\circ$ abständigen Breitenkreise entnommen und dieselben dann zonal gemittelt.
3. Um den großen Arbeitsaufwand bei dieser Art von manuellen Analysenverfahren mit anschließender Gitterwertsentnahme sowie zonaler Mittelbildung zu verkürzen, wurde in der Abteilung Meteorologie des Instituts für Meereskunde, Kiel, ein maschinelles Analysenprogramm entworfen, welches eine horizontale Feldanalyse der Temperatur auf jeder Standard-Druckfläche durchzuführen gestattet, zusammen mit allen anschließend benötigten Rechenschritten. Für alle zwölf Monate des Jahres wurden dann in dieser Weise auf einer EDV-Anlage des Kieler Rechenzentrums Horizontal-Analysen hergestellt und zonale Mittelwerte der Lufttemperatur berechnet. Für drei Monate (Januar, Februar, März) wurde ein Vergleich zwischen den Werten nach beiden Methoden vorgenommen, welcher nur geringe und tolerable Unterschiede ergab.

4. Für die Schicht oberhalb der 100 mb-Fläche aufwärts bis zur 10 mb-Fläche hat das Institut für Meteorologie und Geophysik der Freien Universität Berlin dankenswerterweise zonale gemittelte Lufttemperaturwerte für mehrere Standard-Druckflächen in der unteren Stratosphäre zur Verfügung gestellt.
5. Für den Erdboden wurden noch längerjährig solche Mitteltemperaturen aus verschiedenen Quellen gesammelt und daraus ein sich geschlossenes Bild des Jahresganges der zonal gemittelten Temperatur in der Nordhalbkugel gewonnen (siehe Fr. DEFANT, 1978, p. 104). Ähnlich wurde ein für alle Monate des Jahres vorliegendes Material von zonal gemittelten Bodenluftdruckwerten herangezogen (siehe DINIES, 1968); Mittelungszeitraum: 68 Jahre (1899 - 1967), 20°N bis Nordpol und SCHERHAG (1969), Mittelungszeitraum: 10 Jahre (1951 - 1960), 0° bis 20°N .
6. Alle diese längerzeitlich verfügbare Information über die zonal gemittelte Lufttemperatur in der Nordhemisphäre wurde für alle $2,5^{\circ}$ abständigen Breiten zu vertikalen Temperaturprofilen auf thermodynamischen Diagrammpapieren zusammengefaßt (separat für jeden Monat). In diesen Profilen wurde die mittlere Höhenlage der Tropopause, getrennt nach der primären tropischen (nahe 90 bis 100 mb) und der sekundären tropischen, zwischen etwa 160 bis 190 mb südlich des Hauptwindmaximums (Subtropenjet), der Tropopause der gemäßigten Breiten zwischen 210 und etwa 280 mb und schließlich der polaren, etwas oberhalb bzw. unterhalb von 300 mb, festgelegt. Im Anschluß daran sind für viele Druckflächen auch horizontale Temperaturprofile gezeichnet worden, um in der Troposphäre die ungefähren klimatologisch mittleren Grenzen der Subtropen- bzw. der Polarfront zu ermitteln, die natürlich für jeden Monat in unterschiedlicher Breite in Erscheinung treten.
Schließlich wurden alle Meridionalschnitte flächenanalyisiert und dabei ist streng auf eine logische Abwandlung des Feldes von Monat zu Monat geachtet worden. Vier solcher Schnitte (Januar, April, Juli, Oktober) als Bei-

spiele sind von Fr. DEFANT (1978) präsentiert und im Detail besprochen worden.

7. In einem weiteren Schritt wurden für viele Druckflächen
(a) in der Troposphäre: 1000, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 350, 300, 280, 260, 240, 220, 200 und von 190 bis 100 mb in 10 mb Intervallen sowie auch (b) in der unteren Stratosphäre: 90, 80, 70, 60, 50, 40, 35, 30, 25, 20, 17,5, 15, 12,5 und 10 mb aus den auf diesen Flächen vorliegenden horizontalen Temperaturprofilen Temperaturwerte für jeden Breitengrad nach sorgfältiger Interpolation entnommen. Diese Werte bilden dann den Ausgang für die Berechnung der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z .
8. Schließlich wurden die zonal und längerzeitlich gemittelten Werte der spezifischen Feuchte q , welche OORT und RASMUSSEN, 1971 veröffentlicht haben, sorgfältig interpoliert und im Jahresablauf homogenisiert. Diese Feuchtedaten dienten zur Berechnung der virtuellen Temperatur.
9. Anschließend wurde eine geopotentielle Höhenrechnung mit Anwendung der barometrischen Höhenformel und Verwendung von virtuellen Mitteltemperaturen für einzelne Druckintervalle auf der EDV-Anlage durchgeführt. Diese Rechnung betrifft alle Vertikalen im Abstand von $2,5^\circ$ Breite zwischen Äquator und Nordpol, angefangen vom Boden bis aufwärts zur 10 mb-Fläche (ca. 30 km Höhe).
10. Als Prüfung des gesamten Datensatzes wurden die troposphärischen Werte mit ähnlichen Werten verglichen, die zeitlich später aus einem großen Datensatz des Deutschen Wetterdienstes gewonnen wurden und eine andere zehnjährige Zeitperiode 1967 bis 1976 als Mittelungszeitraum hat. Es zeigte sich eine befriedigende Übereinstimmung von meist $< 1^\circ\text{C}$, was andeutet, daß trotz vorhandener Unterschiede von Jahr zu Jahr in den Monatsmitteln durch eine Mittelung über unterschiedliche Zehn-Jahresperioden solche Unterschiede weitgehend eliminiert werden.

Auch hinsichtlich der verwendeten Stratosphärentemperaturwerte zeigte ein Vergleich mit später veröffentlichten und besser verarbeiteten Mitteltemperaturen (LABITZKE, 1972) befriedigende Übereinstimmung.

3. THEORETISCHE GRUNDLAGEN ZUR BERECHNUNG DER ZONAL VERFÜGBAREN POTENTIELLEN ENERGIE A_z

3.1. DEFINITION DER VERFÜGBAREN POTENTIELLEN ENERGIE

Die differenziert an unterschiedlichen Stellen erfolgende Erwärmung oder Abkühlung (differential heating), welche die Sonne und die feste Erde auf die dazwischen liegende Atmosphäre ausüben, ist die eigentliche Ursache für die Erzeugung und Aufrechterhaltung der atmosphärischen Zirkulation. Das Konzept der sogenannten verfügbaren potentiellen Energie (verfügbar zu einer Umsetzung in kinetische Energie) wurde erstmals in die Meteorologie durch M. MARGULES (1903) eingeführt und wesentlich später von E. LORENZ (1955) in Verbindung mit Zirkulationsstudien fortentwickelt. Diese sogenannte verfügbare potentielle Energie A (available) repräsentiert jene Menge an totaler potentieller Energie, welche in kinetische Energie überführt werden kann und berücksichtigt somit die o.a. differentielle Erwärmung. Sie ist durch den Differenzbetrag:

$$A = (\phi + E) - (\phi + E)_e \quad (3.1)$$

definiert, wobei $(\phi + E)$ als Summe der gravitationellen und der inneren Energie die sogenannte "totale potentielle Energie" bezeichnet wird.

$$\phi = \int_{Atm} C_p (\rho T) d\tau \quad \text{und} \quad E = \int_{Atm} C_\alpha (\rho T) d\tau$$

definieren dabei die potentielle und die innere Energie der gesamten Atmosphäre.

$$d\tau = (a^2/g) d\lambda d\varphi dp$$

ist ein Massenelement derselben. $(\phi + E)_e$ hingegen bezeichnet

entsprechend die totale potentielle Energie einer sich im Schwerfeld in einem stabilen hydrostatischen Gleichgewichtszustand (Index e = equilibrium) befindlichen Spezialatmosphäre.

3.2. DER GLEICHGEWICHTSZUSTAND $(\phi + E)_e$ DER REFERENZATMOSPHERE

Dieser Zustand (T_e, P_e) wird aus dem tatsächlichen Zustand (T, P) in der Atmosphäre heraus durch eine adiabatische Transformation gewonnen, mit der Annahme, daß die Atmosphäre ein thermisch und mechanisch abgeschlossenes System ist. Den Betrag $(\phi + E)_e$ bezeichnet man dann als die "nicht-verfügbare potentielle Energie". Schon MARGULES hat bereits diesen Betrag größenordnungsmäßig aus folgender Gleichheit abgeschätzt:

$$(\phi + E)_e \equiv 4\pi a^2 \frac{C_p}{g} \int_0^{P_0} (T_e) dp_e = \frac{C_a}{C_p - C_a} \int_{Atm} (\rho_e C_e^2) d\tau_e \quad (3.2)$$

Hierin bedeuten T_e und P_e die Temperatur und den Druck des Gleichgewichtszustandes.

$$P_0 \approx 1010 \text{ mb.}$$

$C_e^2 = (C_a/C_p) (P_e/\rho_e)$ ist die LAPLACE'sche Schallgeschwindigkeit. Man erkennt, daß es in diesem Ausgleichszustand keine horizontale Abhängigkeit aller Parameter gibt, sondern nur eine vertikale Abhängigkeit ($T_e = f(p)$).

Die Referenztemperatur T_e sollte eigentlich durch eine Flächenmittelung auf einer Fläche konstanter potentieller Temperatur (trockenadiabatische Umschichtung der aktuellen in die hydrostatisch balancierte Gleichgewichtsatmosphäre) gewonnen werden. Jedoch haben sowohl LORENZ (1955) als auch VAN MIEGHEM (1956) gezeigt, daß mit großer Näherung $T_e \approx \bar{T}^\theta$ auch $T_e \approx \bar{T}^p$ ist, also eine isobare Mittelbildung (auf Flächen $p = \text{konst.}$) durchgeführt werden kann.

3.3. DIE TOTALE POTENTIELLE ENERGIE ($\phi + E$) DES AKTUELLEN ATMOSPHERISCHEN ZUSTANDES UND DIE TOTALE POTENTIELLE ENERGIE DES REFERENZZUSTANDES DER ATMOSPHERE

LORENZ (1956) geht von der totalen potentiellen Energie

$$\phi + E = \int_{\text{Atm}} C_p (\rho T) d\tau$$

aus und verwendet darin unter dem Integralzeichen die Definition der potentiellen Temperatur. Anschließend führt er eine partielle Integration durch. Dies ergibt dann die folgende sogenannte exakte Formel:

$$(\phi+E) \approx (4\pi a^2) \left(\frac{C_p}{g} \frac{p^{-k}}{k+1}\right) \int_{\theta_L}^{\infty} (p^{\overline{k+1}^\theta}) d\theta + \theta_L (p_O^{\overline{k+1}^\theta}) \quad (3.3)$$

In ähnlicher Weise erhält er für die nicht verfügbare potentielle Energie

$$(\phi+E)_e = \int_{\text{Atm}} C_p (\rho_e T_e) d\tau$$

des Gleichgewichtszustandes:

$$(\phi+E)_e \approx (4\pi a^2) \left(\frac{C_p}{g} \frac{p^{-k}}{k+1}\right) \int_{\theta_L}^{\infty} (\overline{p}^\theta)^{k+1} d\theta + \theta_L (\overline{p}_O^\theta)^{k+1} \quad (3.4)$$

In beiden Formeln bezeichnet $p = 1000 \text{ mb}$, $k = 0,2856$ (POISSON-Konstante), $p_O = \text{Bodenluftdruck}$, $C_p = \text{spezifische Wärme bei konstantem Druck der trockenen Luft}$ und θ_L die potentielle Temperatur unterhalb von θ_O am Erdboden (Intervall unterhalb des Bodens (θ_L, θ_O)). Die zweiten Terme auf den rechten Seiten bleiben jedoch meist klein. Nach (3.1) liefert dann die Differenz (3.3) minus (3.4) nach einigen Zwischenrechnungen eine Formel für die verfügbare potentielle Energie A:

$$A \approx \frac{1}{2} \left(\frac{R/g}{p^k}\right) (4\pi a^2) \int_0^{\infty} (\overline{p}^\theta)^{k+1} \left[\frac{(p')^\theta}{(\overline{p}^\theta)} \right]^2 d\theta \quad (3.5)$$

Darin bezeichnet \bar{p}^θ einen Mittelwert des Drucks auf einer isotropen Fläche ($\theta = \text{konst.}$). Dies gilt auch für die Formeln (3.3) und (3.4) und weiterhin ist $(p')_\theta$ die entsprechende Abweichung von diesem Mittel. R ist die Gaskonstante der trockenen Luft.

Durch eine noch aufwendigere Analyse gewinnt VAN MIEGHEM (1956) eine etwas andere Formel für A :

$$A \approx \frac{1}{2} (4\pi a^2) \int_0^{p_0} \left(\frac{1}{\theta_e} \frac{\partial \theta_e}{\partial z} \right)^{-1} \left[\frac{(\theta')_p}{\theta_e} \right]^2 dp \quad (3.5a)$$

3.4. DIE VERFÜGBARE POTENTIELLE ENERGIE A

Man kann relativ leicht zeigen, daß mit $\theta_e \approx \bar{\theta}^p$, $T_e \approx \bar{T}^p$ sowie mit

$$\frac{\partial \theta_e}{\partial z} = -g \rho_e \frac{\partial \theta_e}{\partial p} \quad \text{und mit}$$

$$(\theta')_p = - \left(\frac{\partial \theta_e}{\partial p} \right) (p')_\theta$$

die Formeln (3.5) und (3.5.a) sich weitgehend entsprechen und beide in eine für Berechnungen außerordentlich passende Formel für A transferierbar sind:

$$A \approx \frac{1}{2} \int_{\text{Atm}} (C_p \gamma) (T')_p^2 dm > 0 \quad (3.6)$$

Diese Formel enthält einerseits die Abweichungen $(T')_p$ vom isobaren Flächenmittel $(T)^p \approx T_e$ und andererseits einen vertikalen Stabilitätsfaktor:

$$\Gamma = C_p \gamma = (R/p) (\theta_e/T_e) \frac{-1}{\partial \theta_e / \partial p} \quad (3.7)$$

welcher nur von der vertikalen Schichtung der Referenzatmosphäre abhängig ist. Seine Dimension ist (grad^{-1}) .

Mit $\frac{\theta_e}{T_e} = \left(\frac{1000}{p_e} \right)^k$ und mit einigen weiteren Umwandlungen ergibt sich:

$$\gamma = 2,0624 \cdot p^{-1,286} \cdot \left(-\frac{\Delta p}{\Delta \theta} \right) \quad (3.8)$$

Damit ist gezeigt, daß sich die Formel (3.6) für A mit Verwendung von Radiosondendaten der Temperatur (Temperaturfelder auf einzelnen Druckflächen) auswerten läßt. Man sollte im Auge behalten, daß die verfügbare potentielle Energie A ein globales Konzept darstellt und für einzelne Teilbereiche der Atmosphäre nur der Integrand von (3.6) zahlenmäßig berechnet werden kann und in Prozent der totalen globalen Energiemenge ausgedrückt werden sollte.

Bei der Berechnung der γ -Funktion ($\gamma = f(P)$) mit der Formel (3.7) bzw. (3.8) ergaben sich maximale γ -Werte für den Sommer (Juni, Juli, August) nahe der 300 mb-Fläche, während sich die Maxima für die übrigen Monate nahe 350 mb einstellen (siehe Tabelle 1).

3.5. DIE ZERLEGUNG DER ENERGIEGRÖSSE A IN A_Z UND A_E

Die verfügbare potentielle Energie A der gesamten Atmosphäre läßt sich in einen zonal gemittelten Anteil (A_Z) und in einen meridional gemittelten großturbulenten Anteil (A_E) zerlegen. Für eine beliebige Größe x gilt:

$$\bar{x}^\lambda = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (x) d\lambda \quad (\text{zonales Mittel}) \quad (3.9)$$

$$\bar{x}^\varphi = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} (x) \cos \varphi d\varphi \quad (\text{meridionales Mittel}) \quad (3.10)$$

$$\text{mit } x \equiv \bar{x}^\lambda + x'' \quad \text{und} \quad x = \bar{x}^\varphi + x''$$

wobei " $-\lambda$ " als Symbol für eine zonale- und " $-\varphi$ " als Symbol für eine meridionale Mittelung gilt. Nach OORT (1964) läßt sich die Mittelwertbildung von atmosphärischen Parametern für einen sogenannten gemischt räumlich-zeitlichen Bereich ausführen. Da die hier verwendeten Temperaturdaten bereits als langfristige zonale Mittel vorliegen (siehe Einleitung), war der nächste auszuführende Schritt eine meridionale Temperaturmittelung. Diese liefert dann Temperaturflächenmittel und entsprechende Abweichungen von diesem Flächenmittelwert.

(Tabelle 1)
 Stabilitätsfunktion $\gamma [10^{-3} \text{ grad}^{-1}]$
 $\gamma = - (1/c_p) (R/p) (\zeta_e/T_e) (\partial \zeta_e / \partial p)^{-1}$

mb/Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1000	4.3	5.1	5.8	6.6	7.7	8.4	8.4	8.0	7.3	6.5	5.7	5.0
900	5.5	5.7	6.3	6.8	7.6	8.0	8.2	7.6	7.2	6.7	6.2	5.7
800	6.3	6.4	6.8	7.2	7.6	7.9	8.1	7.6	7.4	7.0	6.7	6.5
700	7.7	7.9	7.9	8.1	8.4	8.2	8.1	7.9	7.7	7.8	7.8	7.6
600	9.6	10.0	10.0	9.7	9.3	9.0	8.7	8.6	8.6	8.9	9.2	9.3
500	11.6	11.6	11.5	11.4	10.8	10.5	10.2	10.2	10.5	10.9	11.2	11.4
400	12.7	12.6	12.8	12.8	12.7	12.5	12.7	12.8	12.8	12.7	12.7	12.5
350	12.4	12.7	13.0	13.3	13.8	14.3	14.8	14.9	14.7	14.1	13.6	13.0
300	10.2	10.5	11.0	11.8	12.9	14.3	15.1	15.1	14.3	12.9	11.9	11.0
280	9.7	9.6	9.9	10.7	11.7	13.0	14.4	14.5	13.3	12.0	10.9	10.4
260	9.2	9.2	9.0	9.7	10.5	11.7	13.2	13.5	12.2	11.1	10.1	9.7
240	8.6	8.6	8.4	8.9	9.6	10.5	11.4	12.0	11.2	10.2	9.4	9.1
220	8.1	8.0	7.8	7.9	8.8	9.6	9.9	10.5	9.9	9.0	8.7	8.4
200	7.6	7.5	7.2	7.1	7.9	8.6	8.8	9.2	8.9	8.1	7.8	7.6
180	7.4	7.3	7.05	6.9	7.4	8.0	8.3	8.6	8.3	7.7	7.45	7.3
180	7.2	7.15	6.9	6.8	7.0	7.4	7.8	7.9	7.7	7.25	7.05	7.05
170	7.1	7.05	6.8	6.65	6.7	6.95	7.35	7.45	7.15	6.9	6.9	6.95
160	7.05	6.95	6.75	6.55	6.5	6.65	6.9	7.0	6.8	6.7	6.8	6.9
150	7.0	6.85	6.65	6.5	6.35	6.4	6.6	6.7	6.55	6.55	6.7	6.8
140	6.9	6.8	6.6	6.45	6.2	6.25	6.35	6.4	6.35	6.45	6.65	6.75
130	6.85	6.7	6.5	6.4	6.05	6.1	6.1	6.2	6.15	6.4	6.6	6.7
120	6.80	6.65	6.45	6.35	5.95	5.9	5.9	5.9	5.9	6.3	6.5	6.65
110	6.75	6.5	6.3	5.9	5.7	5.6	5.4	5.4	5.7	5.8	6.4	6.6
100	6.5	6.0	5.75	5.4	5.0	4.7	4.4	4.4	4.7	5.1	5.6	6.3
90	5.2	4.8	4.6	4.43	4.30	4.18	4.12	4.17	4.26	4.40	4.49	5.0
80	4.40	4.38	4.32	4.22	4.06	3.99	3.98	3.99	4.07	4.22	4.34	4.40
70	4.28	4.24	4.17	4.00	3.97	3.95	3.94	3.95	3.97	4.06	4.20	4.30
60	4.20	4.13	4.00	3.97	3.94	3.90	3.89	3.90	3.94	3.98	4.06	4.18
50	4.10	4.00	3.96	3.93	3.89	3.86	3.85	3.87	3.90	3.95	3.98	4.07
40	3.99	3.96	3.92	3.88	3.85	3.82	3.82	3.83	3.87	3.91	3.95	3.98

$$T = \bar{T}^F + T^* \quad (\text{Flächenmittel} + \text{Flächenabweichung}) \quad (3.11)$$

$$T = [T] + T' \quad (\text{zonales Mittel} + \text{zonale Abweichung}) \quad (3.12)$$

$$T = \{T\} + T'' \quad (\text{meridionales Mittel} + \text{meridionale Abweichung}) \quad (3.13)$$

Eine meridionale Mittelung von $[T]$ ergibt:

$$[T] = \{[T]\} + [T]''$$

nach Einsetzen in (3.12) wird:

$$T = \{[T]\} + [T]'' + T' \quad \text{durch Vergleich mit (3.11)}$$

$$\bar{T}^F + T^*$$

Also ist die Flächenabweichung T^* gleich der Summe von zonaler Abweichung T' und meridionaler Abweichung T'' .

$$T^* = T' + T'' \quad (3.14)$$

Das langzeitliche Flächenmittel T_e wurde hier für die Nordhemisphäre nach folgender Formel bestimmt:

$$T_e = \frac{\sum_{i=0}^{90} [T]_i \cdot \cos(\varphi_i)}{\sum_{\varphi=0}^{90} \cos(\varphi)} \quad (3.15)$$

Die zonalen Mittel $[T]_i$ erfahren somit eine Cosinusgewichtung wegen des verschieden großen Umfangs der einzelnen Breitenkreise. Diese Formel liefert ausgehend von den jeweils langzeitlich und zonal gemittelten Temperaturwerten (für jeden Breitengrad vorliegend) das Flächenmittel T_e für ein spezielles Niveau.

Die Anwendung der Formel (3.15) auf alle in dieser Arbeit verwendeten 38 Niveaus (von 1000 bis 10 mb) ergibt somit für jeden Monat des Jahres ein mittleres Profil ($T_e = f(P)$), das den hydrostatischen Gleichgewichtszustand oder den Referenzzustand der Atmosphäre für den betreffenden Monat repräsentiert. Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt das Resultat:

Tabelle 2: Temperatur T_e der Referenzatmosphäre [grad C]

mb/ Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1000	8,23	8,61	10,32	14,21	18,25	21,13	22,49	21,41	19,28	15,78	12,46	9,93
900	5,73	5,78	7,20	9,98	13,18	16,00	17,14	16,50	15,00	11,66	8,79	6,92
800	2,09	2,00	3,13	5,25	8,10	10,56	11,74	11,48	9,76	7,08	4,38	3,04
700	-2,08	-2,52	-2,11	-2,9	2,14	4,57	5,93	5,86	4,09	1,71	-0,94	-2,04
600	-9,70	-9,61	-9,04	-7,27	-4,66	-2,37	-0,81	-0,89	-2,64	-5,16	-7,56	-8,93
500	-18,20	-18,20	-17,85	-15,87	-13,47	-10,83	-8,94	-9,38	-11,05	-13,72	-15,93	-17,63
400	-29,02	-28,85	-28,34	-26,46	-24,40	-21,55	-20,12	-19,95	-21,82	-24,72	-26,80	-27,88
350	-35,50	-35,14	-34,52	-32,98	-30,69	-28,18	-26,91	-26,80	-28,60	-31,20	-33,23	-34,33
300	-41,93	-42,16	-41,84	-39,99	-38,62	-36,07	-34,80	-34,83	-36,27	-38,70	-40,44	-41,47
280	-44,16	-44,38	-44,07	-43,14	-41,43	-39,11	-37,96	-38,19	-39,56	-41,58	-42,99	-43,91
260	-46,94	-46,99	-46,64	-45,73	-44,37	-42,42	-41,14	-41,64	-42,73	-44,77	-46,02	-46,60
240	-49,68	-49,64	-49,19	-48,44	-47,31	-45,81	-44,57	-45,31	-45,94	-47,80	-48,96	-49,38
220	-52,19	-52,22	-51,80	-51,15	-50,35	-49,30	-48,23	-48,47	-49,33	-50,94	-51,96	-52,18
200	-54,92	-54,58	-54,29	-53,55	-52,82	-51,95	-51,20	-51,40	-52,46	-53,55	-54,63	-54,84
190	-55,90	-55,81	-55,37	-54,74	-54,21	-53,68	-52,54	-53,05	-54,06	-55,23	-56,19	-55,97
180	-57,18	-57,28	-56,46	-55,73	-55,60	-55,01	-53,93	-54,75	-55,70	-56,51	-57,37	-57,18
170	-58,24	-58,76	-57,69	-56,84	-56,85	-56,41	-55,53	-56,58	-57,42	-57,67	-58,73	-58,39
160	-59,51	-59,85	-59,04	-58,00	-58,00	-57,67	-56,93	-57,93	-59,13	-58,98	-59,88	-59,64
150	-60,74	-60,90	-60,22	-59,11	-58,97	-58,86	-58,39	-59,12	-60,34	-60,21	-60,86	-60,72
140	-61,79	-61,94	-60,97	-60,30	-59,84	-59,79	-59,60	-60,37	-61,15	-61,51	-62,05	-61,73
130	-63,20	-63,11	-62,11	-61,36	-60,82	-60,87	-60,81	-61,41	-62,15	-62,80	-63,61	-62,85
120	-64,55	-64,35	-63,47	-62,62	-61,75	-61,89	-61,88	-62,47	-63,09	-64,01	-64,87	-64,21
110	-66,03	-65,85	-64,71	-63,91	-62,73	-62,93	-63,00	-63,64	-64,03	-65,14	-66,09	-65,75
100	-67,60	-67,27	-66,07	-65,33	-63,68	-63,75	-63,16	-63,65	-64,83	-66,56	-67,54	-67,18
90	-69,51	-68,21	-66,69	-65,22	-63,29	-62,80	-62,14	-62,63	-63,84	-65,75	-67,94	-68,52
80	-68,48	-67,10	-65,62	-64,00	-62,12	-61,64	-60,90	-61,38	-62,72	-64,72	-66,34	-67,60
70	-66,90	-66,17	-64,37	-62,69	-60,86	-60,31	-59,47	-60,07	-61,37	-63,26	-65,05	-66,68
60	-65,30	-64,32	-62,85	-61,13	-59,46	-58,69	-57,91	-58,44	-59,72	-61,95	-63,55	-64,94
50	-63,37	-62,74	-61,03	-59,36	-57,90	-56,70	-56,05	-56,63	-57,70	-60,32	-61,73	-63,23
40	-61,14	-60,21	-58,84	-56,92	-55,27	-54,21	-53,53	-54,31	-55,93	-58,30	-59,70	-61,31
35	-59,79	-58,95	-57,26	-55,55	-53,71	-52,41	-51,71	-52,94	-54,61	-57,08	-58,45	-59,99
30	-58,13	-57,34	-55,67	-53,82	-51,91	-50,55	-50,24	-51,29	-53,14	-55,55	-56,98	-58,52
25	-56,19	-55,35	-53,51	-51,97	-49,80	-48,54	-48,20	-49,36	-51,20	-53,64	-55,22	-56,80
20	-54,14	-53,21	-51,60	-49,34	-47,35	-45,80	-45,31	-47,11	-49,21	-51,36	-53,45	-54,93
17,5	-52,92	-51,81	-50,05	-47,81	-45,74	-44,47	-43,95	-45,74	-47,70	-50,19	-52,25	-53,77
15	-51,61	-50,35	-48,64	-46,09	-43,85	-42,61	-42,06	-44,11	-46,14	-48,77	-50,81	-52,49
12,5	-49,82	-48,67	-47,10	-44,22	-41,89	-40,38	-40,02	-42,32	-44,51	-47,20	-49,27	-50,85
10	-48,59	-46,89	-45,13	-42,11	-39,38	-37,77	-37,81	-39,99	-42,57	-45,28	-47,51	-49,13

Formal ergibt sich dann analog zu Formel (3.12) und (3.13):

$$A = A_z + A_E \quad (3.16)$$

Somit lassen sich die beiden Energiearten A_z und A_E gemäß den Formeln (3.11) und (3.6) wie folgt definieren:

$$A_z \approx \int_{Atm} \frac{1}{2} \gamma C_p (\bar{T}^\lambda)^2 dm \quad (3.17)$$

und

$$A_E \approx \int_{Atm} \gamma C_p (T^*)^2 dm \quad (3.18)$$

γ ist hier wieder der Stabilitätsfaktor nach Gleichung (3.7) und $dm = (a^2/g) \cos \varphi d\varphi d\lambda dp$ ein Massenelement der Atmosphäre. Die Summe dieser beiden Energieanteile stellt also die Energie A des zonal (meridional) und zeitlich gemittelten Massenfeldes dar, wobei A_z jene Menge an verfügbarer Energie repräsentiert, die im zonal gemittelten Massenfeld enthalten ist. A_E charakterisiert jene Menge an verfügbarer potentieller Energie, welche durch Abweichungen der Massenverteilung von ihrer zonal gemittelten Verteilung (großskalige Wellen- und Wirbelstörungen) verursacht ist. Im weiteren beschäftigt sich die Untersuchung - wie schon oben ausgeführt wurde - ausschließlich mit A_z .

3.6. INTEGRATIONSVERFAHREN FÜR A_z

Bei der Berechnung von A_z gemäß Formel (3.17) erhält man also eine punktweise quantitative Analyse der verfügbaren potentiellen Energie A_z des zonal gemittelten Massenfeldes. Mit Flächenmittelabweichungen (nach Formel (3.6) und Formel (3.11)) für alle 2,5 Breitengrade (vom Äquator bis zum Pol) in der Horizontalen sowie in der Vertikalen für alle Standarddruckflächen von 1000 bis 10 mb ergibt sich eine A_z -Verteilung von 1406 Werten pro Monat in der Einheit Joule pro Gramm bzw. Joule pro Kilogramm (siehe Abbildungen 1-12). Horizontale Integration liefert ein horizontales Mittel

\bar{A}_z^p auf einer beliebigen der hier verwendeten Standard-Druckflächen ($p = \text{konst.}$):

$$\bar{A}_z^p = \frac{1}{\sin \varphi_3 - \sin \varphi_1} \int_{\varphi_1}^{\varphi_3} A_z \cdot \cos \varphi \, d\varphi \quad (3.17a)$$

$$\approx \frac{[A_z]_1 \cdot \cos \varphi_1 + 2[A_z]_2 \cdot \cos \varphi_2 + [A_z]_3 \cdot \cos \varphi_3}{45,8348 (\sin \varphi_3 - \sin \varphi_1)}$$

wobei φ_3 die nördlicher gelegene und φ_1 die südlicher gelegene Breite darstellen. Diese horizontale Integration wurde in Intervallen von fünf Breitengraden ausgeführt und ergab somit pro Standard-Druckfläche vom Äquator bis zum Pol 18 horizontale Flächenmittelwerte der verfügbaren potentiellen Energie A_z .

Eine sinnvolle Einteilung der 38 Standard-Druckflächen von 1000 bis 10 mb in meteorologisch relevante Schichten wurde wie folgt vorgenommen:

1. Planetarische Grenzschicht von 1000 bis 800 mb
(~ 2 km Schichtdicke)
2. Untere und mittlere Troposphäre von 800 bis 400 mb
(~ 5 km Schichtdicke)
3. Obere Troposphäre (Strahlstrombereich)
von 400 bis 140 mb (~ 7 km Schichtdicke)
4. Unterer Teil der unteren Stratosphäre von 140 bis 50 mb ($\sim 6,5$ km Schichtdicke)
5. Oberer Teil der unteren Stratosphäre von 50 bis 10 mb ($\sim 10,5$ km Schichtdicke)

Für die vertikale Integration der horizontalen A_z -Flächenmittel \bar{A}_z^p wurde die folgende Formel gewählt:

$$\bar{A}_z^F = \left(\frac{1}{g}\right) \int_{p_3}^{p_1} \bar{A}_z^p \, dp \approx \frac{(p_1 - p_3)}{g} \bar{A}_z^p \quad (3.17b)$$

$$\approx \frac{\Delta p}{g} \frac{A_{z1}^{-p_1} + 2 A_{z1}^{-p_2} + A_{z1}^{-p_3}}{4}$$

(Tabelle 3)

Fläche einzelner Breitenzonen von 5° Weite $[10^3 \text{ km}^2]$ bzw. $[10^{14} \text{ m}^2]$

Breiten	Fläche	Breiten	Fläche	Breiten	Fläche
0/5	0,2223	30/35	0,1877	60/65	0,1028
5/10	0,2205	35/40	0,1765	65/70	0,0851
10/15	0,2172	40/45	0,1640	70/75	0,0669
15/20	0,2122	45/50	0,1503	75/80	0,0482
20/25	0,2056	50/55	0,1355	80/85	0,0290
25/30	0,1973	55/60	0,1195	85/90	0,0097

Sie liefert eine Verteilung der verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit 10^2 Joule pro m^2 . In Formel (3.17b) bezeichnet p_1 die untere - und p_3 die obere Druckfläche. Die Integrationsintervalle Δp der o.a. Schichten sind wie folgt:

Für die Planetarische Grenzschicht beträgt $\Delta p = 200$ mb, die untere und mittlere Troposphäre hat zwei Integrationsintervalle mit $\Delta p = 200$ mb, während in der oberen Troposphäre mit dem Strahlstrombereich drei Integrationsbereiche von $\Delta p = 100$ mb, $\Delta p = 100$ mb und $\Delta p = 60$ mb gewählt wurden. Im unteren und oberen Teil der unteren Stratosphäre sind ebenfalls jeweils drei Δp -Bereiche (mit $\Delta p = 40$ mb, $\Delta p = 30$ mb, $\Delta p = 20$ mb) bzw. ($\Delta p = 20$ mb, $\Delta p = 10$ mb, $\Delta p = 10$ mb) angenommen worden. Die später noch zu diskutierenden Abbildungen Nr. 13 bis Nr. 22 zeigen den Jahresgang von A_z in den bereits beschriebenen meteorologischen Schichten in Abhängigkeit der geographischen Breite φ . Bei einer Berücksichtigung der Fläche der einzelnen 5° -Breitenringe, d.h. nach Multiplikation der horizontalen Flächenmittel \bar{A}_z^p mit den entsprechenden Flächenwerten nach Tabelle 3, ergibt sich nach anschließender vertikaler Integration mit Formel (3.17b) eine Absolutwertverteilung der verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit 10^{20} Joule.

3.7. DIE HAUSHALTSGLEICHUNG FÜR DIE ZONAL VERFÜGBARE POTENTIELLE ENERGIE A_z

Eine Haushaltsgleichung für die zonal verfügbare potentielle Energie A_z kann wie folgt formuliert werden (siehe E. LORENZ, 1956 und VAN MIEGHEM, 1972):

$$\frac{\partial}{\partial t} (A_z) \sim \frac{\partial}{\partial t} \int_{Atm} \frac{1}{2} \gamma c_p (\bar{T}^\lambda)^2 dm = - C_z - T_A + G_z \quad (3.19)$$

worin C_z die Energieumsetzung von A_z in die zonale kinetische Energie K_z kennzeichnet. Sie ist durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$C_z \approx \int_{Atm} - (\bar{\alpha}^\lambda \bar{\omega}^\lambda) dm \quad (3.20)$$

mit α = spezifisches Volumen ($= \frac{1}{\rho}$) und $\omega = \frac{dp}{dt}$ = "generalisierte" vertikale Geschwindigkeitskomponente.

$dm = (\frac{a^2}{g}) \cos \varphi d\varphi d\lambda dp$ bezeichnet ein Massenelement der Atmosphäre, T_A repräsentiert den Transferbetrag zwischen A_z und A_E , wobei maßgeblich der meridionale großturbulente Wärmetransport $\overline{T^{*v*}}^\lambda$ und das mittlere meridionale Gefälle der Temperatur $\frac{\partial}{\partial \varphi} \bar{T}^\lambda$ eingehen.

$$T_A \approx -C_p \int_{Atm} \left\{ \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\overline{T^{*v*}}^\lambda \right) + \left(\overline{T^{*w*}}^\lambda \right) \frac{\partial}{\partial p} \right\} (\gamma \theta^{-1} \bar{T}^\lambda) > 0 \quad (3.21)$$

Die Erzeugung von A_z ist durch den nachfolgenden Ausdruck gegeben:

$$G_z \approx \int_{Atm} \gamma (\bar{Q}_U^\lambda \bar{T}^\lambda) dm > 0 \quad (3.22)$$

Darin bezeichnet \bar{Q}_U^λ die mittlere Erwärmungsrate der Atmosphäre pro Masseneinheit durch ihre Umgebung ($Q_U = Q_k + (Q_U = Q_k + Q_L + Q_S$; Q_k durch Wärmeleitung, Q_L durch latente Kondensationswärme und Q_S durch Strahlungsprozesse); $\bar{Q}^\lambda = f(\varphi, p)$). Die Begründung für die Positiv-Angabe in (3.21) und (3.22) wird anschließend gegeben.

Bei der quantitativen Bestimmung von G_z bzw. A_z werden für jedes Niveau aus den \bar{Q}^λ - bzw. \bar{T}^λ -Verteilungen meridionale Mittelwerte gebildet (analog der Mittelbildung in Kapitel 3.5). Dann ergeben sich entsprechende Abweichungen von diesen Mittelwerten $(\bar{Q}_U^\lambda)''$ und $(\bar{T}^\lambda)''$. Nach Multiplikation der $(\bar{Q}_U^\lambda)''$ - mit den $(\bar{T}^\lambda)''$ -Werten des entsprechenden geometrischen Ortes sowie nach der Multiplikation mit dem Stabilitätsfaktor γ (siehe Kapitel 3.4) erhält man die Erzeugungsrate G_z der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z . Bei positiver Korrelation $(\bar{Q}_U^\lambda)'' > 0$, $(\bar{T}^\lambda)'' > 0$ bzw. $(\bar{Q}_U^\lambda)'' < 0$, $(\bar{T}^\lambda)'' < 0$ zwischen $(\bar{Q}_U^\lambda)''$ und $(\bar{T}^\lambda)''$ ergibt sich nach Formel (3.22) ein positiver Wert für G_z , d.h. es wird zonal verfügbare potentielle Energie A_z erzeugt und analog wird

bei negativer Korrelation zwischen $(\overline{Q_U^\lambda})$ und $(\overline{T^\lambda})$ A_z vernichtet. Da in den Tropen $(\overline{Q_U^\lambda})$ und $(\overline{T^\lambda})$ positiv ausfallen und in polaren Breiten negativ sind, folgt daraus für die Troposphäre ein überwiegend positives Vorzeichen für G_z (speziell im Äquator- und Polbereich). In der Stratosphäre ist es bedingt durch inverse Baroklinität (kalt im Tropenbereich und relativ warm im Polbereich) gerade umgekehrt und konsequenterweise wird hier G_z vernichtet. Der Transfer T_A des zonal mittleren Energieanteils A_z in den großturbulenten Anteil A_E der verfügbaren potentiellen Energie (Formel (3.21)) ist notwendig, um die differentielle Strahlungsbilanz zwischen Pol und Äquator annähernd stationär aufrecht zu erhalten. Um den polwärts gerichteten Transport $\overline{T^* v^*}^\lambda$ zu gewährleisten, ist die in Formel (3.21) aufgezeigte positive Korrelation zwischen den Abweichungen von T^* und v^* vom jeweiligen zonalen Mittelwert $\overline{T^\lambda}$ und $\overline{v^\lambda}$ erforderlich. Weiterhin zeigt sich mit Formel (3.21), daß für den Transfer T_A (von A_z in A_E) auch der mittlere meridionale Temperaturgradient $\partial(\overline{T^\lambda})/\partial\varphi$ von Wichtigkeit ist. Der Wärmefluß ist in der Troposphäre groß und positiv (und auch $-\partial(\overline{T^\lambda})/\partial\varphi > 0$) was bedeutet, daß T_A in der Troposphäre überwiegend positiv ausfallen muß. Nach Formel (3.19) bedeutet ein unterschiedliches T_A -Vorzeichen entweder eine Zunahme oder Abnahme von A_z mit der Zeit. Eine entsprechende Haushaltsgleichung für A_E enthält wieder T_A , aber jetzt mit gegensätzlichem Vorzeichen und somit ausdrückt, daß T_A einen Transfer von A_z nach A_E oder umgekehrt darstellt. Für die Umsetzungsrate C_z zwischen der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z und der zonal gemittelten kinetischen Energie K_z ergibt sich mit Formel (3.20) und einigen Umformungen (siehe Fr. DEFANT, 1976, Promet 4/76):

$$C_z \approx \int_{Atm} (f \overline{u_g^\lambda} \overline{v^\lambda}) \, dm \quad (3.23)$$

mit $f = 2\Omega \sin \varphi$ = Coriolisparameter.

Diese Version für C_z ist der Formel (3.20) völlig äquivalent und praxisbezogener ($\overline{u_g^\lambda}$ und $\overline{v^\lambda}$ sind leichter erhältlich).

Im starken Westwindbereich ist $\overline{u_g^\lambda}$ in Relation zu \bar{v}^λ sehr groß. Da aber \bar{v}^λ nahezu Null ist, nimmt C_z in diesem mittleren Troposphärenbereich geringe Werte an. In der unteren Troposphäre sind $\overline{u_g^\lambda}$ und \bar{v}^λ verhältnismäßig klein und daher auch C_z . Verschiedene Vorzeichen von C_z , bedingt durch unterschiedliche Richtung von \bar{v}^λ in der Ferrel- und in der Hadley-Zelle, kompensieren sich im Globalen- oder im Jahreszeitenmittel, so daß ein eindeutiger Richtungssinn von C_z nicht gesichert ist.

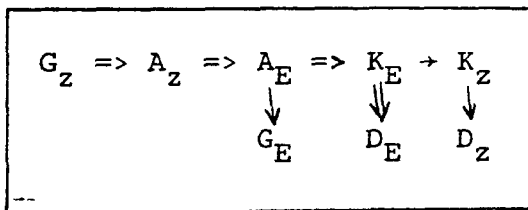
3.8. DER ENERGIEZYKLUS NACH LORENZ IN TROPO- UND UNTERER STRATOSPHERE

3.8.1. Der troposphärische Energiezyklus

Die differentielle Erwärmung (siehe Kapitel 3.7.) verursacht eine kontinuierliche Erzeugung von zonal verfügbarer potentieller Energie im zonal gemittelten Massenfeld durch G_z . Nahezu die Gesamtheit dieses Energiegewinns (input) wird in die verfügbare potentielle Energie A_E der großturbulenten Wellenstörungen überführt. Ein relativ geringer Beitrag davon liefert eine Vernichtung ($-G_E$) von A_E . Dies muß durch eine Erwärmung der kälteren Regionen und eine Abkühlung der wärmeren Bereiche der Wellen- bzw. Wirbelstörungen entlang von Breitenkreisen geschehen (negative Korrelation zwischen Temperatur und diabatischer Erwärmung bzw. Abkühlung). Da die Q_U -Verteilung als Flächenverteilung nicht meßbar ist, läßt sich der Betrag für G_E nur als Rest im Energiehaushalt bestimmen (Fehlbetrag in der Gesamtbilanz). Durch Aufsteigen von wärmeren und Absinken von kälteren Luftmassen innerhalb der Wellen- und Wirbelstörungen wird ein wesentlich größerer Anteil C_E in die turbulente kinetische Energie K_E dieser Störungen umgesetzt. Diese Umsetzung erfolgt in der mittleren Troposphäre und wird von dort durch vertikale, rasche Energieübertragung aufwärts in die Strahlstromschicht (ca. 300 bis 100 mb) einerseits, andererseits abwärts in die Bodenreibungsschicht (< 850 mb) verfrachtet. In diesen beiden Schichten wird K_E dann zu etwa gleichen Teilen durch Rei-

bungsdissipation direkt in Wärme umgesetzt. Der dann noch verbleibende Rest wird durch Störungsaktivität in die zonale Energie K_z des mittleren Bewegungsfeldes (planetarischer Wirbel) transferiert. Dieser Transferprozeß T_K erfolgt in den hochtroposphärischen Strahlstromniveaus und hängt maßgeblich vom meridionalen großturbulenten Drehimpulstransport und vom mittleren meridionalen Gradienten des Zonalwindes \bar{u}^λ ab. Er erfolgt im globalen Mittel von $K_E \rightarrow K_z$ und kann in speziellen Teilbereichen der Troposphäre (meist nördlich der Subtropen) auch in anderer Richtung ablaufen. Der Hauptteil der Reibungsvernichtung der kinetischen Energie K_z erfolgt in der Bodenreibungsschicht und wird dort in Wärme umgesetzt. Ein relativ geringer Anteil betrifft die Umsetzung $A_z \rightarrow K_z$, wobei der Richtungssinn (Vorzeichen) wenig abgesichert ist. Außerdem heben sich größere lokale Anteile im globalen Mittel weitgehend auf.

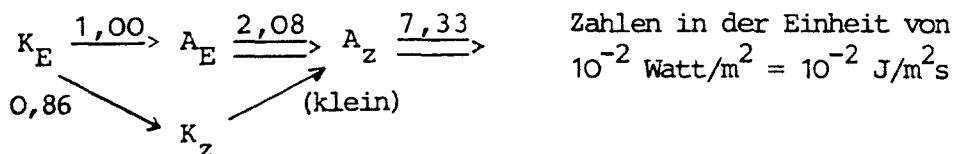
Das Schema des grundlegenden Energiezyklus nach LORENZ in der Troposphäre stellt sich somit wie folgt dar:



3.8.2. Der Energiezyklus in der unteren Stratosphäre und die energetische Koppelung mit der Troposphäre

Aus der Tatsache, daß in der unteren Stratosphäre (100 bis 25 mb ca. 15 bis 25 km Höhe) der äquatoriale Bereich kalt (-70 bis -80°C) und die subpolare Region wärmer (-55°C im Winter, -48°C im Sommer) ist, ergibt sich eine negative Korrelation zwischen der Temperatur und der Strahlungserwärmung. Folglich findet in der unteren Stratosphäre eine Vernichtung (G_z negativ) von zonaler verfügbarer potentieller Energie A_z statt (quantitative Abschätzungen von OORT siehe Promet 4/76, S. 29). Somit muß man sich fragen, woher die kinetische Energie der stratosphärischen Zirkulation gewonnen wird? Aus Arbeiten von NEWELL und SHEPPARD sowie

MOLLA/LOISEL (1962, 1963) läßt sich aus der Neigung der Linien gleicher Ozonkonzentration mit Bezug auf die Niveaulinien des Schwerfeldes und aus der Beobachtung radioaktiver Spurenstoffe schließen, daß warme polwärts strömende Luft absinkt und kalte äquatorwärts fließende Luft innerhalb der unteren Stratosphäre gehoben wird (negative Korrelation zwischen T und w oder positive zwischen T und ω , was $C_E < 0$ bedeutet). Es wird also dort kinetische Energie K_E der großskaligen Turbulenzbewegungen in die verfügbare potentielle Energie A_E umgesetzt ($K_E \rightarrow A_E$). Der makroturbulente Wärmefluß ($\overline{v \cdot T}^\lambda$) ist in der unteren Stratosphäre wie in der Troposphäre, polwärts gerichtet. Aber der mittlere negative Temperaturgradient besitzt einen umgekehrten Richtungssinn wie in der Troposphäre, so daß nach Formel (3.21) der Transfer $T_A < 0$ wird, d.h. es erfolgt in der unteren Stratosphäre ein Transfer von A_E nach A_Z . Außerdem sind die Bedingungen, was den Transfer T_K betrifft, ähnlich geartet wie in der Troposphäre, so daß im globalen Mittel dieser Transfer gleich wie in der Troposphäre abläuft, also von $K_E \rightarrow K_Z$. Nach allem was wir wissen, besitzt die mittlere Meridionalzirkulation einen indirekten Sinn (Hebung der Kaltluft in den hohen und niederen Breiten und Absinken der Warmluft über der gemäßigten Breitenzone, woraus eine Umsetzung von $K_Z \rightarrow A_Z$ folgt (diese Umsetzung sollte jedoch klein ausfallen)). Nach Zusammenfassung ergibt sich nach OORT folgender Energiezyklus für die untere Stratosphäre:



Die an die Richtungspfeile angefügten Zahlenwerte sind die quantitativen Ergebnisse im Jahresmittel von OORT (1964).

Die kinetische Energie K_E der großskaligen Wellenstörungen hält also die zonale mittlere Grundzirkulation K_Z der unteren Stratosphäre energetisch aufrecht. Da K_E sicherlich noch einen durch Reibungsdissipation bedingten Verlust erleidet, ist es zwingend notwendig, um den ganzen Zyklus gegen die starke Vernichtungsrate von G_Z aufrecht zu erhalten, daß eine kräftige Energiezufuhr aus den benachbarten Atmosphären-Stockwerken (Troposphäre oder obere Stratosphäre) erfolgen muß, um das Reservoir K_E so auszustatten, daß es die beobachtete Umsetzung nach A_E und den beobachteten Transfer nach K_Z hin zu leisten imstande ist. Die Troposphäre mit ihrer größeren Masse und ihrem Überschuß an turbulenter kinetischer Energie K_E versorgt durch einen aufwärts gerichteten Transport von turbulenter Energie $(-\overline{\omega^* \phi^*})^\lambda$, welche sich aus der Korrelation der Schwankungen ω und ϕ entlang von Breitenkreisen ergibt (siehe Promet 4/76, S. 30) die untere Stratosphäre mit jener Menge K_E , die benötigt wird, um entsprechend dem oben dargestellten Energieschema den Zyklus aufrecht zu erhalten.

4. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNG

4.1. DISKUSSION DER MONATLICHEN VARIATION DER VERTEILUNG DER ZONAL VERFÜGBAREN POTENTIELLEN ENERGIE A_Z IN EINEM MITTLEREN MERIDIONALSCHNITT (MITTEL ÜBER 10 JAHRE)

Als Einleitung für die nachfolgende detaillierte Besprechung der getrennt für jeden Monat gewonnenen mittleren meridionalen Verteilungen von A_Z (Mittel über 10 Jahre, siehe die Abbildungen 1 bis 12) sollen einige gemeinsame Grundeigenschaften aufgeführt werden:

- 1) Der Integrand von A_Z innerhalb der Troposphäre (vom Boden aufwärts bis ca. 200 mb) ist über den tropischen Breiten (ca. 0° bis 15°N) und über den polaren Breiten (ca. 60° bis 90°N) am größten. Dabei überwiegen die polaren Werte die tropischen um das 2- bis 3-fache.

Über den Subtropen (im Winter nahe 30°N , im Sommer nahe 45°N) findet sich eine nahezu vertikal orientierte Nulllinie in allen A_z -Verteilungen, welche die oben genannten beiden Maxima trennt. Dort ist die Temperatur jeweils identisch gleich der Temperatur der Referenzatmosphäre (siehe die Formel 3.6 in Kapitel 3.3. mit $(T')_p \equiv 0$).

Was die Höhenlage der polaren bzw. tropischen Maxima in der Troposphäre angeht, so befinden sie sich etwa zwischen 600 und 400 mb, nur über den sehr hohen Breiten ist A_z in den bodennahen Schichten besonders groß. Dort ist dann die vertikale A_z -Verteilung mit einem Doppelmaximum ausgestattet, wobei in ca. 800 mb ein sekundäres Maximum in Erscheinung tritt.

- 2) Nahe der 200 mb-Fläche trennt eine weitere Nulllinie in allen Breiten die vorstehend genannten großen troposphärischen Werte von wieder größeren A_z -Beträgen darüber.
- 3) In diesem unteren Teil der unteren Stratosphäre (etwa 200 mb bis ca. 50 mb) sind wieder ähnliche Eigenheiten feststellbar wie in der Troposphäre, nur sind die Beträge des tropischen bzw. polaren Maximums von A_z wesentlich reduziert. Was das polare Maximum betrifft, so ist es in dieser Schicht nur von April bis September über der Polarregion auffindbar, während es sich von Oktober bis März während der Winterzeit aus der polaren Region heraus nach den mittleren Breiten (etwa 50° - 60°N) hin verschiebt. Die Höhenlage beider Maxima findet sich stets nahe der 100 mb-Fläche.
- 4) Im Höhenintervall darüber (ca. 50 bis 30 mb) bleiben die A_z -Werte in allen Monaten und in allen Breiten recht klein.
- 5) Als letztes Stockwerk müssen noch die Eigenheiten in der obersten Schicht von ca. 30 bis 10 mb angesprochen werden. Dort bestehen markante Unterschiede zwischen der Winterzeit (November bis Februar) und dem restlichen Zeitraum des Jahres. Im Winter stellt sich als Folge der stratosphärischen Abkühlung der Stratosphäre (Einstrahlungsmangel, polare Nacht) ein stärkeres Maximum von A_z über den nördlichen Breiten ein, welches im Januar immerhin etwa 1 Joule/gr erreicht.

Tabelle 4 :

Integrand der zonal verfügbaren potentiellen Energie Λ_z
 [Joule pro Gramm] für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10mb
 und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

(J A N U A R)

nb/° Breite	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1000	.76	.75	.73	.56	.37	.17	.05	.00	.04	.21	.49	.80	1.32	1.83	2.34	2.86	3.34	3.86	4.20
900	.64	.67	.64	.52	.34	.17	.05	.00	.07	.24	.49	.70	1.12	1.45	1.74	2.00	2.33	2.54	2.81
800	.61	.63	.61	.48	.32	.16	.04	.00	.08	.26	.49	.70	1.03	1.28	1.44	1.69	1.87	2.04	2.16
700	.56	.58	.56	.47	.33	.17	.02	.01	.12	.30	.61	.90	1.24	1.49	1.74	1.96	2.17	2.36	2.50
600	.70	.71	.73	.60	.43	.24	.04	.00	.11	.32	.59	.97	1.34	1.63	1.91	2.15	2.38	2.57	2.71
500	.93	.91	.86	.76	.55	.30	.06	.02	.16	.44	.77	1.15	1.47	1.80	2.07	2.39	2.63	2.84	2.96
400	.90	.87	.82	.72	.57	.33	.05	.02	.16	.41	.74	1.14	1.43	1.75	2.06	2.42	2.75	3.05	3.14
350	.94	.88	.78	.67	.52	.30	.06	.03	.16	.37	.66	1.13	1.42	1.74	2.04	2.34	2.57	2.82	3.01
300	.61	.57	.53	.43	.32	.16	.03	.04	.14	.30	.44	.61	.80	.96	1.12	1.26	1.39	1.46	1.53
280	.49	.46	.42	.34	.26	.15	.02	.06	.18	.32	.26	.37	.54	.68	.80	.89	.49	1.07	1.10
260	.36	.33	.29	.23	.17	.10	.02	.07	.20	.35	.12	.10	.34	.43	.52	.40	.66	.69	.72
240	.22	.20	.17	.14	.11	.07	.01	.10	.21	.17	.03	.00	.16	.23	.30	.35	.34	.41	.41
220	.09	.08	.06	.06	.05	.04	.01	.04	.14	.03	.00	.03	.08	.12	.16	.20	.22	.22	.22
200	.02	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.03	.07	.10	.11	.10	.00
190	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.02	.05	.08	.08	.08	.07
180	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.03	.01	.00	.00	.02	.04	.05	.04	.04
170	.02	.02	.02	.01	.01	.00	.00	.01	.02	.04	.05	.04	.01	.00	.01	.02	.03	.03	.02
160	.05	.05	.04	.04	.03	.01	.00	.02	.06	.08	.09	.07	.04	.01	.00	.01	.01	.01	.01
150	.10	.09	.08	.07	.05	.01	.00	.03	.08	.13	.14	.12	.07	.03	.01	.00	.00	.00	.00
140	.18	.16	.14	.12	.07	.01	.01	.05	.12	.17	.19	.17	.12	.06	.02	.00	.00	.00	.00
130	.25	.23	.20	.14	.07	.02	.00	.04	.14	.24	.27	.23	.17	.10	.04	.01	.00	.00	.01
120	.36	.32	.27	.20	.10	.02	.00	.06	.17	.31	.35	.32	.24	.16	.08	.03	.01	.01	.02
110	.47	.43	.35	.23	.13	.03	.00	.07	.24	.40	.43	.40	.31	.22	.13	.04	.03	.03	.04
100	.59	.55	.47	.35	.17	.04	.00	.10	.29	.48	.53	.47	.39	.28	.17	.10	.05	.05	.07
90	.56	.52	.42	.30	.17	.05	.00	.07	.27	.48	.53	.51	.41	.30	.19	.10	.04	.04	.06
80	.34	.30	.25	.16	.10	.04	.00	.03	.18	.33	.38	.34	.27	.18	.09	.03	.01	.01	.01
70	.21	.17	.16	.10	.06	.02	.00	.02	.11	.24	.27	.24	.18	.09	.02	.00	.00	.01	.01
60	.17	.10	.08	.06	.03	.01	.00	.02	.08	.17	.19	.16	.09	.03	.00	.02	.06	.10	.12
50	.05	.04	.03	.02	.01	.00	.00	.02	.05	.10	.11	.00	.03	.00	.00	.03	.11	.21	.32
40	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.02	.03	.06	.05	.02	.00	.02	.04	.23	.38	.50	.50
35	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.03	.03	.02	.01	.00	.03	.14	.30	.46	.60	.60
30	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.02	.02	.01	.00	.01	.06	.19	.36	.56	.64	.77
25	.00	.00	.01	.01	.01	.01	.01	.02	.01	.01	.00	.00	.03	.12	.26	.46	.65	.81	.87
20	.01	.01	.01	.02	.02	.02	.02	.01	.01	.00	.00	.01	.06	.16	.32	.52	.74	.89	.90
17,5	.01	.02	.02	.02	.02	.02	.02	.01	.01	.00	.00	.02	.08	.18	.35	.56	.79	.95	1.00
15	.02	.03	.03	.03	.03	.03	.02	.01	.00	.00	.00	.03	.12	.22	.39	.60	.83	1.08	1.15
12,5	.04	.04	.05	.05	.05	.04	.03	.01	.00	.00	.01	.05	.14	.29	.49	.71	.94	1.08	1.11
10	.04	.04	.05	.05	.05	.05	.03	.01	.00	.00	.02	.07	.14	.30	.51	.73	.93	1.05	1.00

Tabelle 4 : Integrand der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z
 [Joule pro Gramm] für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10mb
 und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

(F E B R U A R)

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
11000	77	79	73	58	41	22	07	00	05	23	50	86	1.30	1.85	2.44	3.10	3.70	4.22	4.6
900	65	68	65	52	32	17	05	00	05	21	47	77	1.11	1.48	1.93	2.32	2.66	2.96	3.2
800	59	63	61	51	35	16	03	00	07	23	46	70	1.05	1.31	1.58	1.82	1.94	2.14	2.3
700	62	66	65	58	40	18	03	00	08	27	54	85	1.16	1.47	1.76	1.99	2.15	2.30	2.4
600	80	82	80	67	50	27	06	01	12	36	69	1.08	1.43	1.77	2.09	2.34	2.56	2.75	2.9
500	91	94	92	80	55	29	05	02	18	41	72	1.07	1.49	1.93	2.26	2.54	2.82	3.08	3.3
400	94	97	95	81	58	26	03	04	22	44	70	1.07	1.47	1.77	2.08	2.37	2.59	2.83	2.9
350	94	97	83	71	52	26	04	05	22	43	62	97	1.31	1.60	1.92	2.15	2.36	2.57	2.6
300	61	61	55	46	34	16	02	05	22	37	51	65	1.71	1.88	1.01	1.15	1.24	1.34	1.3
280	57	46	39	31	23	11	03	07	21	37	51	32	40	51	62	72	80	87	91
260	37	34	29	24	17	07	02	10	24	37	31	14	21	28	34	41	48	55	61
240	24	21	18	14	09	05	01	12	23	34	10	04	09	13	17	20	25	31	31
220	10	09	07	06	04	02	01	07	18	08	02	01	03	05	07	09	12	15	19
200	01	01	01	01	01	00	00	01	02	01	00	00	00	01	03	04	06	07	01
190	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	00	00	01	01	03	04	01
180	01	01	01	01	00	00	00	00	00	01	03	03	02	00	00	00	01	01	01
170	05	05	05	04	03	01	00	02	03	05	07	07	05	03	01	00	00	00	00
160	12	12	10	00	04	01	01	04	07	09	11	11	09	05	02	01	00	00	00
150	20	20	16	11	05	01	01	06	10	12	15	15	13	09	04	02	01	00	01
140	26	24	21	16	07	01	01	06	11	18	22	22	18	12	07	04	02	02	01
130	32	32	29	27	11	02	01	07	16	24	28	27	24	18	12	08	04	03	01
120	39	37	36	27	15	03	00	08	20	32	38	36	32	23	15	10	07	06	01
110	47	47	42	33	20	05	01	10	24	37	44	46	41	30	21	14	11	10	10
100	54	54	49	39	23	05	01	11	27	42	50	51	45	34	25	19	14	12	10
90	50	46	39	32	19	04	00	00	23	37	45	46	40	31	23	16	11	10	07
80	31	29	26	21	14	04	00	04	14	27	34	35	29	21	14	08	05	03	01
70	28	26	21	14	07	02	00	04	12	22	28	27	22	14	08	03	01	00	00
60	13	13	11	07	03	01	00	02	07	13	18	10	14	07	02	00	02	04	01
50	01	05	08	03	01	00	00	01	03	08	12	11	05	01	00	05	14	22	24
40	02	02	01	01	00	00	00	01	02	04	05	04	01	00	00	12	27	37	37
35	01	01	00	00	00	00	00	01	01	02	03	02	00	00	06	20	32	44	47
30	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	00	00	09	22	35	44	47
25	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	04	13	25	42	52	50
20	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	00	02	07	16	29	42	55	51
17,5	00	01	01	01	01	02	01	01	00	00	00	00	02	09	20	31	45	56	57
15	00	01	01	01	02	02	01	01	00	00	00	00	02	11	21	33	45	56	50
12,5	01	01	01	02	02	02	01	01	00	00	00	01	03	11	21	33	45	53	51
10	01	02	02	02	03	02	01	00	00	00	01	02	05	12	25	35	44	51	47

mb/° Breite

Tabelle 4 : Integrand der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z
 [Joule pro Gramm] für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10mb
 und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

(M Ä R Z)

b°/Breite	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
900	.75	.77	.73	.61	.43	.23	.08	.00	.04	.20	.46	.84	1.32	2.02	2.68	3.39	4.01	4.73	5.45
900	.60	.61	.59	.51	.36	.17	.06	.00	.05	.19	.41	.71	1.09	1.53	1.98	2.50	3.00	3.44	3.83
800	.53	.55	.53	.50	.36	.18	.05	.00	.07	.23	.43	.70	1.07	1.28	1.61	1.95	2.30	2.57	2.70
700	.53	.55	.56	.51	.37	.20	.05	.00	.07	.23	.47	.77	1.05	1.33	1.63	1.94	2.23	2.50	2.60
600	.70	.73	.70	.61	.41	.21	.05	.00	.09	.29	.56	.90	1.26	1.60	1.94	2.29	2.65	2.93	3.13
500	.81	.82	.80	.69	.45	.22	.03	.02	.14	.34	.58	.91	1.27	1.60	1.92	2.25	2.58	2.88	3.20
400	.83	.83	.78	.66	.45	.21	.04	.03	.18	.37	.60	.84	1.18	1.50	1.78	2.05	2.33	2.64	2.80
350	.72	.75	.72	.59	.37	.17	.03	.02	.18	.35	.53	.73	1.05	1.31	1.54	1.82	2.04	2.33	2.50
300	.56	.63	.58	.41	.24	.10	.01	.03	.18	.29	.42	.57	.73	.83	.94	1.02	1.09	1.17	1.20
280	.41	.45	.41	.32	.20	.07	.01	.04	.18	.32	.47	.34	.36	.44	.51	.54	.57	.59	.60
260	.26	.28	.26	.21	.12	.05	.01	.04	.17	.29	.44	.15	.17	.22	.26	.28	.29	.30	.30
240	.16	.18	.16	.12	.07	.03	.00	.04	.18	.29	.20	.05	.05	.08	.10	.11	.12	.12	.12
220	.06	.06	.06	.05	.04	.01	.00	.04	.15	.13	.05	.01	.01	.02	.02	.02	.03	.03	.03
200	.00	.00	.01	.01	.01	.00	.00	.02	.02	.01	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00
190	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.00	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00
180	.03	.02	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.03	.03	.02	.02	.02	.01	.02
170	.06	.05	.04	.03	.02	.00	.00	.00	.01	.02	.04	.06	.07	.06	.05	.04	.04	.04	.04
160	.10	.09	.09	.07	.05	.01	.00	.01	.03	.05	.08	.11	.13	.11	.09	.08	.07	.07	.07
150	.15	.14	.13	.10	.06	.04	.00	.02	.06	.10	.15	.18	.19	.17	.15	.12	.10	.11	.12
140	.24	.21	.19	.15	.09	.03	.00	.02	.07	.13	.19	.23	.24	.22	.18	.16	.14	.13	.13
130	.32	.29	.26	.20	.12	.03	.00	.05	.11	.18	.25	.31	.31	.29	.24	.20	.19	.18	.17
120	.42	.39	.33	.25	.15	.05	.00	.04	.12	.23	.34	.40	.41	.37	.31	.27	.24	.22	.22
110	.53	.49	.42	.32	.19	.05	.00	.05	.18	.31	.43	.48	.49	.46	.38	.34	.29	.25	.25
100	.59	.54	.46	.36	.21	.05	.00	.05	.20	.37	.48	.52	.53	.49	.42	.37	.30	.26	.22
90	.50	.45	.38	.30	.17	.04	.00	.05	.17	.30	.41	.46	.45	.39	.34	.27	.23	.19	.16
80	.37	.33	.28	.21	.12	.03	.00	.03	.12	.22	.31	.36	.33	.28	.22	.16	.13	.10	.08
70	.24	.22	.19	.15	.07	.02	.00	.02	.09	.16	.23	.25	.23	.18	.13	.08	.05	.03	.02
60	.14	.13	.12	.06	.04	.01	.00	.01	.05	.10	.15	.17	.14	.10	.06	.03	.01	.00	.00
50	.08	.07	.05	.03	.02	.00	.00	.01	.03	.05	.08	.10	.08	.04	.01	.00	.00	.02	.02
40	.03	.02	.02	.01	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.04	.04	.03	.01	.00	.01	.00	.07	.07
35	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.02	.01	.01	.00	.00	.02	.05	.07	.07
30	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.06	.08	.08
25	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.06	.08	.08
20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.06	.07	.07
15	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.01	.02	.03	.04	.06	.07	.08	.08
10	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.01	.02	.03	.04	.06	.07	.08	.08
5	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.01	.02	.03	.04	.06	.07	.08	.08
0	.01	.02	.02	.02	.02	.02	.01	.00	.00	.01	.03	.05	.07	.09	.10	.10	.10	.10	.10

Tabelle 4 :

Integrand der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z
[Joule pro Gramm] für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10mb
und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

(A P R I L)

h/° Breite	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
000	46	47	50	46	34	21	08	01	01	11	33	66	1.07	1.58	2.17	2.87	3.61	4.20	4.61
900	38	39	39	35	29	18	06	00	02	12	29	52	.83	1.19	1.56	1.93	2.34	2.73	3.05
800	36	36	35	32	27	18	06	00	04	15	31	52	.77	1.00	1.27	1.56	1.87	2.09	2.23
700	38	38	37	33	27	18	06	00	04	16	33	53	.78	1.00	1.28	1.55	1.83	2.04	2.13
600	42	48	49	40	29	17	05	00	05	18	37	64	.90	1.19	1.46	1.76	2.01	2.24	2.34
500	51	56	55	45	32	17	06	00	07	24	48	72	.99	1.28	1.56	1.86	2.12	2.37	2.44
400	54	58	53	43	31	18	06	00	08	26	48	70	.95	1.25	1.47	1.74	2.09	2.30	2.40
350	60	61	56	43	30	17	06	00	11	29	50	70	.92	1.17	1.37	1.57	1.80	2.09	2.16
300	42	47	45	33	23	14	04	00	13	24	48	63	.74	.78	.84	.88	.93	.96	.97
280	37	38	35	27	18	10	03	01	19	37	53	60	.32	.36	.39	.38	.38	.39	.39
260	23	25	23	16	12	06	01	01	17	36	48	31	.12	.15	.15	.13	.12	.10	.10
240	12	14	13	10	07	03	00	03	20	30	33	09	.02	.03	.03	.02	.01	.01	.02
220	03	04	04	03	02	00	00	03	13	16	06	01	.00	.00	.00	.01	.01	.02	.02
200	00	00	00	00	00	00	01	02	03	01	00	01	.02	.02	.04	.04	.07	.08	.08
190	01	01	00	00	00	01	01	01	00	00	00	03	.04	.06	.07	.09	.11	.12	.12
180	03	02	02	01	01	01	01	01	00	00	02	05	.07	.08	.10	.13	.15	.17	.18
170	08	06	05	03	02	01	01	00	00	02	05	08	.10	.13	.16	.19	.22	.23	.24
160	13	11	09	07	04	02	00	00	01	04	08	12	.16	.19	.23	.25	.28	.30	.31
150	18	16	13	09	06	03	01	00	02	07	11	16	.20	.25	.30	.33	.37	.39	.40
140	25	21	17	12	07	04	01	00	03	09	16	23	.29	.33	.38	.43	.45	.48	.50
130	32	27	22	15	10	05	01	00	04	12	21	28	.34	.41	.47	.51	.56	.57	.58
120	39	33	27	20	13	07	01	00	05	16	26	36	.45	.52	.58	.64	.68	.69	.70
110	45	38	31	22	14	07	02	00	06	17	30	41	.51	.59	.66	.71	.75	.78	.81
100	49	41	33	24	16	08	01	00	07	19	31	43	.54	.64	.72	.78	.81	.83	.87
90	39	34	28	20	13	06	01	00	06	15	26	37	.46	.52	.59	.62	.66	.68	.71
80	29	26	22	16	10	05	01	00	04	12	21	29	.34	.39	.44	.48	.51	.54	.55
70	21	18	15	11	07	03	01	00	03	08	14	19	.23	.27	.31	.34	.37	.39	.40
60	14	12	10	07	04	02	00	00	02	05	09	13	.15	.18	.20	.23	.25	.26	.27
50	09	08	06	04	03	01	00	00	01	03	05	07	.09	.11	.13	.15	.17	.17	.18
40	04	03	02	02	01	00	00	00	00	01	02	03	.04	.05	.06	.08	.09	.11	.13
35	02	01	01	01	00	00	00	00	00	00	01	01	.02	.03	.04	.06	.08	.09	.09
30	01	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07
25	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.05
20	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	00	.00	.00	.00	.01	.02	.03	.04
17,5	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	00	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.03
15	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	.01	.01	.00	.00	.01	.02	.03
12,5	00	00	00	01	01	01	00	00	00	01	02	02	.01	.01	.00	.00	.01	.02	.03
10	00	00	01	01	01	01	00	00	01	02	03	03	.02	.01	.00	.00	.00	.01	.01
	00	01	01	01	02	01	00	00	01	02	04	04	.04	.02	.01	.00	.00	.01	.01

Tabelle 4 : Integrand der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [Joule pro Gramm] für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10mb und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

(M A I)

mb/° Breite	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1000	23	24	26	27	24	17	09	02	00	05	19	41	70	112	159	211	266	324	370
900	20	17	10	23	25	17	08	01	00	05	19	37	60	90	123	155	188	216	233
800	10	16	17	21	24	17	07	01	01	07	18	34	54	76	100	125	145	160	160
700	19	18	19	23	24	17	07	00	02	10	23	30	58	74	93	115	134	147	151
600	27	21	23	25	22	16	07	00	02	10	24	37	58	81	104	123	142	154	164
500	24	27	30	32	27	17	06	00	04	14	29	47	66	85	108	129	150	165	170
400	31	34	35	32	25	15	06	0	07	19	33	40	65	86	106	121	138	149	157
350	35	30	37	31	22	13	04	00	06	21	35	51	65	82	100	114	126	138	146
300	34	40	38	27	16	08	02	00	07	23	35	40	57	64	70	71	72	74	75
280	24	31	27	20	11	05	01	00	07	22	34	47	53	27	30	29	27	26	25
260	15	21	20	13	07	04	01	00	08	25	34	47	31	09	11	06	04	03	03
240	07	10	10	07	03	01	00	00	05	19	28	27	07	01	01	00	01	01	01
220	02	02	02	01	00	00	00	01	05	13	10	03	00	01	03	08	12	14	14
200	00	00	00	00	00	01	02	02	01	00	00	00	03	06	12	18	24	28	27
190	02	01	01	01	01	02	02	01	00	00	01	03	07	12	19	25	32	37	37
180	05	04	04	04	03	03	02	01	00	01	04	07	12	18	25	34	41	46	47
170	08	00	07	06	05	05	03	01	01	03	07	12	18	25	33	42	50	56	57
160	15	14	11	09	07	04	02	00	01	05	11	17	24	33	41	50	59	65	60
150	21	18	15	12	00	05	02	00	02	07	14	22	30	38	48	57	66	71	71
140	27	24	15	15	10	05	02	00	03	10	18	26	34	44	54	65	73	80	82
130	31	20	24	10	12	06	02	00	04	11	23	32	40	50	60	70	81	88	90
120	30	34	30	23	15	07	02	00	05	15	27	37	46	54	64	79	89	96	97
110	43	40	35	27	10	00	01	01	08	19	31	41	51	62	74	84	95	104	107
100	43	41	36	29	20	08	01	01	09	21	31	41	51	62	72	83	93	100	103
90	35	33	30	23	15	07	01	00	06	16	25	34	43	51	62	72	80	86	80
80	20	26	23	10	11	05	01	00	04	11	19	26	33	42	50	61	69	75	70
70	22	20	18	14	07	04	01	00	02	07	14	20	27	35	44	53	61	66	67
60	17	15	13	10	07	03	00	00	01	04	09	14	21	28	37	46	54	61	65
50	12	11	09	06	04	02	01	0	01	02	05	09	15	21	30	40	54	61	57
40	06	05	04	03	02	01	00	00	00	01	02	04	08	13	19	27	35	42	45
35	04	03	03	02	01	01	00	00	00	00	01	02	05	09	15	22	29	35	36
30	02	02	01	01	01	00	00	00	00	00	00	01	03	06	10	16	23	29	31
25	01	01	01	00	00	00	00	00	00	00	00	00	02	04	07	12	17	23	24
20	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	02	05	09	14	18	17
15	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	04	07	11	14	15
10	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	03	05	08	10	11
5	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	02	05	07	08	00
0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	00	00	00	00	01	03	05	07	00

Tabelle 4 : Integrand der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z
 [Joule pro Gramm] für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10mb
 und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

(J U N I)

lat° Breite	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1000	.07	.08	.10	.14	.16	.14	.08	.03	.00	.01	.08	.22	.43	.73	1.08	1.46	1.81	2.10	2.31
900	.07	.05	.06	.12	.15	.12	.06	.02	.00	.02	.08	.17	.33	.51	.73	.98	1.16	1.30	1.37
800	.07	.05	.06	.10	.14	.12	.06	.01	.00	.03	.09	.10	.29	.43	.57	.71	.85	.96	1.01
700	.06	.05	.06	.10	.12	.11	.07	.02	.00	.04	.10	.10	.28	.39	.51	.64	.76	.86	.90
600	.08	.07	.07	.12	.13	.11	.05	.02	.00	.05	.12	.22	.32	.44	.58	.69	.78	.86	.90
500	.08	.07	.12	.14	.15	.11	.05	.01	.00	.07	.15	.24	.34	.46	.61	.79	.89	.98	1.03
400	.09	.11	.15	.16	.17	.12	.06	.01	.00	.08	.19	.31	.43	.53	.69	.85	.97	1.09	1.12
350	.11	.14	.17	.19	.18	.13	.06	.01	.00	.10	.23	.37	.50	.60	.74	.87	.95	1.04	1.11
300	.14	.17	.20	.20	.17	.11	.05	.01	.01	.10	.25	.41	.52	.61	.68	.75	.80	.84	.87
280	.08	.11	.13	.13	.11	.08	.04	.01	.00	.10	.23	.36	.45	.47	.27	.34	.35	.35	.33
260	.04	.08	.09	.09	.07	.05	.03	.01	.00	.09	.23	.36	.42	.20	.07	.09	.07	.06	.05
240	.02	.04	.05	.05	.04	.03	.02	.00	.00	.10	.22	.32	.29	.02	.00	.00	.00	.01	.01
220	.00	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.01	.07	.15	.12	.01	.01	.03	.07	.10	.13	.14
200	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.02	.07	.14	.21	.27	.30	.31
190	.03	.03	.02	.02	.02	.02	.01	.01	.00	.00	.01	.03	.07	.14	.23	.32	.38	.42	.44
180	.07	.06	.05	.04	.04	.02	.01	.00	.00	.01	.04	.07	.13	.21	.30	.39	.48	.52	.54
170	.13	.11	.09	.07	.05	.04	.02	.00	.00	.03	.07	.13	.20	.28	.38	.49	.57	.62	.65
160	.18	.16	.13	.09	.07	.06	.02	.00	.01	.05	.12	.17	.27	.37	.47	.58	.66	.73	.76
150	.23	.19	.15	.12	.08	.06	.02	.00	.01	.05	.14	.20	.34	.44	.56	.67	.77	.84	.86
140	.27	.24	.21	.16	.11	.07	.02	.00	.02	.09	.19	.30	.41	.53	.65	.76	.84	.94	.97
130	.29	.27	.24	.18	.13	.08	.03	.00	.02	.11	.24	.36	.48	.60	.71	.83	.96	1.04	1.10
120	.33	.30	.27	.22	.16	.09	.04	.00	.03	.14	.28	.42	.56	.67	.81	.93	1.06	1.15	1.20
110	.36	.33	.30	.26	.19	.11	.04	.00	.04	.16	.32	.47	.59	.73	.86	.99	1.12	1.23	1.27
100	.33	.30	.28	.24	.17	.11	.04	.00	.03	.17	.33	.45	.57	.69	.81	.93	1.05	1.13	1.16
90	.26	.24	.22	.17	.14	.07	.03	.00	.03	.11	.23	.34	.45	.56	.66	.77	.86	.94	1.01
80	.22	.21	.18	.15	.11	.07	.03	.00	.02	.08	.18	.20	.38	.48	.57	.67	.76	.85	.91
70	.19	.18	.16	.12	.07	.05	.02	.00	.01	.06	.14	.23	.31	.40	.50	.59	.70	.80	.86
60	.16	.15	.13	.10	.07	.04	.01	.00	.01	.04	.09	.17	.25	.33	.42	.52	.63	.72	.76
50	.11	.11	.07	.07	.05	.03	.01	.00	.00	.02	.06	.12	.18	.26	.34	.42	.51	.60	.67
40	.08	.07	.06	.04	.03	.02	.01	.00	.00	.01	.03	.06	.12	.18	.24	.30	.39	.46	.50
35	.06	.05	.04	.03	.02	.01	.00	.00	.00	.01	.02	.05	.08	.13	.18	.25	.30	.36	.40
30	.04	.03	.03	.02	.02	.01	.00	.00	.00	.00	.01	.03	.06	.09	.14	.19	.24	.29	.33
25	.03	.03	.02	.02	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.04	.07	.11	.16	.21	.25	.28
20	.02	.02	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.03	.06	.08	.12	.17	.21	.24
15	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.03	.05	.09	.12	.16	.20	.23
10	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.03	.05	.07	.11	.15	.19	.22
5	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.03	.04	.07	.10	.14	.18	.21
0	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.03	.04	.06	.09	.12	.14	.16

Tabelle 4 : Integrand der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z
 [Joule pro Gramm] für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10mb
 und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

(J U L I)

mb/° Breite	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1000	.03	.04	.05	.07	.10	.10	.09	.05	.01	.00	.04	.14	.30	.54	.86	1.19	1.54	1.82	2.00
900	.03	.02	.03	.07	.11	.10	.07	.03	.00	.01	.05	.13	.23	.36	.55	.75	.94	1.09	1.21
800	.02	.02	.02	.05	.07	.07	.06	.03	.00	.01	.05	.11	.18	.28	.39	.52	.62	.69	.75
700	.02	.01	.02	.04	.06	.07	.06	.03	.00	.01	.04	.10	.17	.26	.33	.43	.52	.61	.69
600	.02	.02	.03	.05	.07	.07	.05	.02	.00	.01	.06	.12	.18	.25	.33	.45	.55	.63	.67
500	.02	.02	.03	.04	.06	.06	.05	.03	.01	.01	.05	.12	.19	.28	.36	.46	.56	.65	.66
400	.03	.05	.07	.07	.09	.08	.05	.03	.01	.01	.12	.21	.30	.43	.55	.69	.78	.85	.90
350	.05	.08	.10	.11	.10	.08	.07	.03	.00	.02	.15	.20	.37	.49	.61	.76	.85	.95	1.00
300	.05	.09	.12	.11	.07	.08	.06	.02	.00	.01	.14	.27	.42	.53	.64	.73	.80	.88	.90
280	.03	.06	.07	.07	.07	.06	.04	.03	.01	.00	.11	.23	.32	.40	.46	.49	.51	.54	.50
260	.01	.04	.06	.06	.05	.04	.03	.02	.01	.00	.10	.21	.31	.37	.34	.16	.14	.13	.13
240	.00	.01	.02	.03	.03	.03	.02	.01	.01	.00	.08	.17	.25	.35	.03	.01	.00	.00	.00
220	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.00	.00	.04	.09	.09	.01	.01	.01	.06	.08	.07
200	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.04	.08	.14	.20	.24	.25
190	.03	.03	.03	.03	.02	.02	.01	.00	.00	.01	.02	.04	.14	.10	.15	.22	.29	.35	.30
180	.06	.06	.05	.04	.04	.03	.02	.00	.00	.01	.05	.10	.20	.19	.24	.31	.39	.43	.40
170	.10	.09	.07	.06	.05	.04	.02	.01	.00	.03	.10	.17	.26	.26	.32	.40	.49	.55	.50
160	.14	.13	.10	.08	.06	.04	.02	.01	.00	.03	.10	.17	.26	.33	.41	.51	.60	.67	.67
150	.20	.17	.14	.10	.07	.05	.02	.00	.00	.05	.13	.24	.34	.42	.52	.61	.72	.81	.89
140	.25	.21	.17	.12	.08	.05	.02	.00	.00	.05	.14	.27	.39	.49	.60	.70	.81	.90	.99
130	.28	.24	.20	.15	.11	.07	.03	.00	.00	.07	.18	.33	.46	.58	.69	.80	.93	1.02	1.06
120	.32	.27	.23	.18	.13	.08	.04	.00	.02	.09	.21	.36	.52	.66	.79	.92	1.06	1.15	1.10
110	.37	.29	.24	.20	.14	.09	.04	.00	.02	.10	.24	.41	.56	.69	.82	.94	1.08	1.18	1.23
100	.40	.31	.24	.16	.12	.08	.03	.00	.01	.08	.20	.37	.54	.69	.84	.97	.42	1.01	1.06
90	.43	.34	.26	.18	.11	.07	.03	.00	.01	.06	.17	.29	.41	.51	.60	.70	.81	.87	.92
80	.46	.37	.28	.19	.13	.08	.04	.00	.01	.05	.14	.24	.34	.43	.53	.63	.71	.79	.83
70	.49	.40	.31	.22	.15	.09	.05	.00	.01	.04	.11	.20	.28	.41	.50	.60	.70	.71	.77
60	.52	.43	.34	.25	.17	.09	.04	.00	.01	.03	.09	.16	.24	.33	.41	.49	.59	.65	.71
50	.55	.46	.37	.28	.19	.09	.04	.00	.02	.06	.11	.17	.18	.25	.33	.41	.50	.58	.61
40	.58	.49	.40	.31	.22	.13	.07	.00	.01	.04	.06	.07	.11	.17	.23	.31	.38	.43	.40
35	.61	.52	.43	.34	.25	.14	.08	.00	.01	.03	.04	.05	.08	.13	.18	.24	.30	.35	.37
30	.64	.55	.46	.37	.28	.17	.09	.00	.02	.01	.02	.04	.06	.10	.14	.19	.24	.28	.27
25	.67	.58	.49	.39	.29	.18	.09	.00	.01	.00	.02	.04	.06	.09	.12	.15	.21	.24	.20
20	.70	.61	.52	.42	.32	.21	.12	.00	.00	.00	.02	.04	.05	.07	.09	.11	.17	.21	.18
15	.73	.64	.55	.45	.35	.24	.14	.00	.00	.00	.04	.06	.06	.08	.10	.12	.18	.22	.20
10	.76	.67	.58	.48	.38	.27	.16	.00	.00	.00	.06	.08	.08	.09	.11	.13	.17	.21	.21
5	.79	.70	.61	.51	.41	.30	.20	.00	.00	.00	.08	.10	.09	.10	.11	.13	.16	.19	.21
0	.82	.73	.64	.54	.44	.33	.23	.00	.00	.00	.10	.12	.11	.11	.12	.14	.17	.19	.21
900	.85	.76	.67	.57	.47	.36	.26	.00	.00	.00	.12	.14	.13	.13	.14	.16	.18	.19	.21
800	.88	.79	.70	.60	.50	.40	.30	.00	.00	.00	.14	.16	.15	.15	.16	.18	.20	.21	.23
700	.91	.82	.73	.63	.53	.43	.33	.00	.00	.00	.16	.18	.17	.17	.18	.20	.22	.23	.25
600	.94	.85	.76	.66	.56	.46	.36	.00	.00	.00	.18	.20	.19	.19	.20	.22	.24	.25	.27
500	.97	.88	.79	.69	.59	.49	.39	.00	.00	.00	.20	.22	.21	.21	.22	.24	.26	.27	.29
400	1.00	.91	.82	.72	.62	.52	.42	.00	.00	.00	.22	.24	.23	.23	.24	.26	.28	.29	.31
350	1.03	.94	.85	.75	.65	.55	.45	.00	.00	.00	.24	.26	.25	.25	.26	.28	.30	.31	.33
300	1.06	.97	.88	.78	.68	.58	.48	.00	.00	.00	.26	.28	.27	.27	.28	.30	.32	.33	.35
280	1.09	.10	.91	.81	.71	.61	.51	.00	.00	.00	.28	.30	.29	.29	.30	.32	.34	.35	.37
260	1.12	.13	.94	.84	.74	.64	.54	.00	.00	.00	.30	.32	.31	.31	.32	.34	.36	.37	.39
240	1.15	.16	.97	.87	.77	.67	.57	.00	.00	.00	.32	.34	.33	.33	.34	.36	.38	.39	.41
220	1.18	.19	.10	.90	.80	.70	.60	.00	.00	.00	.34	.36	.35	.35	.36	.38	.40	.41	.43
200	1.21	.22	.13	.93	.83	.73	.63	.00	.00	.00	.36	.38	.37	.37	.38	.40	.42	.43	.45
190	1.24	.25	.16	.96	.86	.76	.66	.00	.00	.00	.38	.40	.39	.39	.40	.42	.44	.45	.47
180	1.27	.28	.19	.99	.89	.79	.69	.00	.00	.00	.40	.42	.41	.41	.42	.44	.46	.47	.49
170	1.30	.31	.22	1.02	.92	.82	.72	.00	.00	.00	.42	.44	.43	.43	.44	.46	.48	.49	.51
160	1.33	.34	.25	1.05	.95	.85	.75	.00	.00	.00	.44	.46	.45	.45	.46	.48	.50	.51	.53
150	1.36	.37	.28	1.08	.98	.88	.78	.00	.00	.00	.46	.48	.47	.47	.48	.50	.52	.53	.55
140	1.39	.40	.31	1.11	1.01	.91	.81	.00	.00	.00	.48	.50	.49	.49	.50	.52	.54	.55	.57
130	1.42	.43	.34	1.14	1.04	.94	.84	.00	.00	.00	.50	.52	.51	.51	.52	.54	.56	.57	.59
120	1.45	.46	.37	1.17	1.07	.97	.87	.00	.00	.00	.52	.54	.53	.53	.54	.56	.58	.59	.61
110	1.48	.49	.40	1.20	1.10	1.00	.90	.00	.00	.00	.54	.56	.55	.55	.56	.58	.60	.61	.63
100	1.51	.52	.43	1.23	1.13	1.03	.93	.00	.00	.00	.56	.58	.57	.57	.58	.60	.62	.63	.65
90	1.54	.55	.46	1.26	1.16	1.06	.96	.00	.00	.00	.58	.60	.59	.59	.60	.62	.64	.65	.67
80	1.57	.58	.49	1.29	1.19	1.09	.99	.00	.00	.00	.60	.62	.61	.61	.62	.64	.66	.67	.69
70	1.60	.61	.52	1.32	1.22	1.12	1.02	.00	.00	.00	.62	.64	.63	.63	.64	.66	.68	.69	.71
60	1.63	.64	.55	1.35	1.25	1.15	1.05	.00	.00	.00	.64	.66	.65	.65	.66	.68	.70	.71	.73
50	1.66	.67	.58	1.38	1.28	1.18	1.08	.00	.00	.00	.66	.68	.67	.67	.68	.70	.72	.73	.75
40	1.69	.70	.61	1.41	1.31	1.21	1.11	.00	.00	.00	.68	.70	.69	.69	.70	.72	.74	.75	.77
35	1.72	.73	.64	1.44	1.34	1.24	1.14	.00	.00	.00	.70	.72	.71	.71	.72	.74	.76	.77	.79
30	1.75	.76	.67	1.47	1.37	1.27	1.17	.00	.00	.00	.72	.74	.73	.73	.74	.76	.78	.79	.81
25	1.78	.79	.70	1.50	1.40	1.30	1.20	.00	.00	.00	.74	.76	.75	.75	.76	.78	.80	.81	.83
20	1.81	.82	.73	1.53	1.43	1.33	1.23	.00	.00	.00	.76	.78	.77	.77	.78	.80	.82	.83	.85
15	1.84	.85	.76	1.56	1.46	1.36	1.26	.00	.00	.00	.78	.80	.79	.79	.80	.82	.84	.85	.87
10	1.87	.88	.79	1.59	1.49	1.39	1.29	.00	.00	.00	.80	.82	.81	.81	.82	.84	.86	.87	.89
5	1.90	.91	.82	1.62	1.52	1.42	1.32	.00	.00	.00	.82	.84	.83	.83	.84	.86	.88	.89	.91
0	1.93	.94	.85	1.65	1.55	1.45	1.35	.00	.00	.00	.84	.86	.85	.85	.86	.88	.90	.91	.93

Tabelle 4 : Integrand der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [Joule pro Gramm] für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10mb und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

mb/° Breite	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1000	.05	.06	.09	.12	.15	.14	.08	.03	.00	.01	.08	.20	.39	.63	.94	1.29	1.64	1.91	2.00
900	.04	.03	.04	.07	.11	.10	.07	.03	.00	.01	.05	.17	.25	.42	.63	.84	1.01	1.13	1.22
800	.03	.02	.02	.06	.08	.08	.06	.03	.00	.01	.05	.11	.21	.34	.50	.62	.72	.82	.85
700	.02	.01	.02	.05	.06	.07	.07	.04	.01	.01	.04	.12	.21	.33	.45	.57	.69	.77	.83
600	.03	.02	.03	.06	.08	.07	.06	.03	.01	.01	.06	.14	.22	.32	.45	.59	.70	.79	.80
500	.03	.04	.06	.09	.10	.09	.06	.03	.00	.02	.08	.17	.30	.43	.58	.72	.84	.94	1.02
400	.04	.05	.08	.11	.12	.11	.08	.04	.01	.02	.11	.22	.37	.53	.70	.90	1.06	1.20	1.27
350	.04	.06	.10	.14	.14	.12	.08	.03	.00	.02	.12	.27	.40	.57	.81	1.04	1.17	1.26	1.34
300	.05	.07	.12	.16	.15	.11	.07	.03	.00	.02	.16	.32	.47	.62	.75	.88	1.00	1.09	1.12
280	.03	.07	.09	.10	.10	.08	.06	.03	.01	.02	.14	.20	.43	.56	.70	.82	.94	1.04	.64
260	.02	.04	.06	.08	.08	.07	.05	.02	.00	.02	.15	.29	.47	.66	.84	.94	1.04	1.14	.64
240	.01	.02	.03	.05	.05	.04	.03	.02	.00	.02	.14	.29	.47	.66	.84	.94	1.04	1.14	.64
220	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.01	.09	.17	.38	.56	.75	.88	1.00	1.09	1.12
200	.03	.01	.01	.06	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.01	.02	.03	.00
190	.04	.03	.02	.05	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.05	.09	.12	.17	.21	.25	.20
180	.07	.06	.04	.03	.02	.02	.01	.01	.00	.02	.04	.08	.12	.16	.21	.28	.32	.38	.42
170	.14	.12	.09	.06	.05	.02	.02	.00	.00	.02	.09	.14	.19	.25	.32	.39	.46	.52	.57
160	.10	.14	.11	.07	.05	.03	.02	.01	.00	.04	.11	.19	.26	.33	.40	.48	.57	.63	.67
150	.27	.17	.13	.10	.07	.04	.02	.00	.00	.04	.13	.24	.32	.42	.50	.60	.65	.73	.75
140	.24	.21	.17	.13	.09	.05	.02	.00	.01	.06	.16	.29	.39	.48	.57	.67	.78	.84	.90
130	.26	.23	.19	.15	.10	.06	.03	.00	.01	.06	.19	.34	.45	.54	.65	.75	.86	.94	.90
120	.29	.25	.22	.16	.11	.07	.04	.01	.01	.08	.21	.30	.45	.54	.65	.75	.86	.94	1.02
110	.30	.27	.23	.16	.12	.08	.04	.01	.01	.09	.24	.34	.51	.62	.73	.82	.92	1.02	1.00
100	.25	.22	.19	.15	.11	.06	.03	.01	.01	.07	.20	.34	.55	.66	.77	.87	.96	1.07	1.13
90	.20	.18	.16	.13	.09	.05	.02	.00	.01	.06	.16	.27	.44	.54	.63	.72	.81	.88	.90
80	.17	.16	.14	.11	.08	.05	.02	.00	.01	.05	.13	.22	.37	.46	.55	.62	.70	.77	.70
70	.14	.13	.11	.09	.06	.04	.01	.00	.01	.03	.10	.10	.32	.40	.47	.55	.60	.64	.60
60	.11	.11	.09	.07	.05	.03	.01	.00	.00	.03	.07	.17	.25	.32	.39	.45	.51	.55	.50
50	.08	.07	.07	.06	.04	.02	.01	.00	.00	.02	.05	.07	.14	.19	.24	.28	.32	.35	.31
40	.06	.05	.05	.04	.02	.01	.00	.00	.00	.01	.03	.05	.08	.11	.15	.19	.21	.24	.25
35	.04	.04	.04	.03	.02	.01	.00	.00	.00	.01	.03	.04	.04	.09	.11	.14	.16	.18	.20
30	.03	.03	.03	.02	.01	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.03	.03	.06	.08	.10	.12	.13	.14
25	.02	.02	.02	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.02	.02	.05	.06	.08	.09	.09	.10
20	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.01	.04	.05	.06	.07	.07	.07
15	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.03	.04	.05	.06	.06	.07
10	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.03	.04	.05	.06	.06	.07
5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.03	.04	.05	.06	.06	.07
0	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.03	.04	.05	.06	.06	.07

Tabelle 4 : Integrand der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z
 [Joule pro Gramm] für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10 mb
 und für 9° abständige Breiten der Nordhemisphäre

(S E P T E M B E R)

mb/° Breite	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1000	.13	.15	.18	.21	.22	.17	.09	.07	.00	.03	.14	.32	.57	.90	1.29	1.79	2.21	2.61	2.92
900	.09	.08	.09	.13	.16	.13	.08	.02	.0	.02	.09	.21	.38	.62	.87	1.15	1.40	1.54	1.72
800	.07	.06	.06	.11	.14	.14	.09	.03	.00	.02	.10	.22	.40	.59	.79	.98	1.17	1.34	1.45
700	.07	.05	.07	.10	.13	.13	.09	.04	.00	.02	.10	.23	.39	.56	.75	.94	1.14	1.28	1.32
600	.09	.08	.09	.13	.15	.12	.08	.07	.00	.03	.10	.23	.40	.54	.85	1.06	1.24	1.38	1.47
500	.11	.12	.15	.16	.16	.13	.09	.03	.00	.04	.15	.32	.53	.72	1.01	1.24	1.48	1.64	1.72
400	.13	.16	.19	.19	.17	.15	.09	.04	.00	.04	.17	.37	.64	.95	1.26	1.46	1.64	1.81	1.91
350	.16	.18	.22	.22	.20	.16	.10	.04	.00	.06	.21	.43	.68	1.03	1.33	1.51	1.70	1.82	1.90
300	.14	.18	.20	.20	.16	.14	.09	.03	.00	.06	.22	.42	.67	.87	1.07	1.28	1.43	1.60	1.68
280	.09	.12	.14	.15	.13	.09	.06	.02	.00	.07	.20	.30	.59	.55	.56	.62	.67	.70	.71
260	.05	.07	.09	.11	.11	.09	.05	.01	.00	.10	.23	.41	.56	.18	.23	.26	.28	.28	.28
240	.02	.03	.05	.06	.06	.05	.03	.01	.00	.10	.24	.30	.18	.05	.06	.06	.06	.06	.06
220	.00	.00	.01	.02	.03	.02	.01	.00	.00	.08	.18	.09	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00
200	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.03	.05	.06	.07	.07
190	.07	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.03	.05	.07	.10	.12	.13	.14
180	.04	.03	.03	.02	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.02	.04	.06	.10	.13	.17	.20	.22	.22
170	.08	.06	.05	.03	.03	.02	.01	.00	.00	.01	.05	.09	.13	.17	.21	.25	.29	.32	.32
160	.13	.11	.09	.07	.05	.03	.01	.00	.00	.03	.09	.15	.20	.26	.32	.37	.41	.44	.45
150	.15	.13	.11	.09	.07	.05	.02	.00	.01	.04	.12	.20	.27	.33	.41	.46	.51	.54	.54
140	.19	.17	.14	.10	.07	.04	.02	.00	.00	.05	.14	.23	.31	.40	.46	.52	.57	.61	.64
130	.23	.21	.17	.12	.08	.05	.02	.00	.01	.07	.17	.26	.38	.46	.53	.59	.65	.71	.73
120	.28	.24	.19	.14	.10	.06	.03	.00	.01	.08	.20	.32	.42	.51	.60	.67	.73	.80	.82
110	.33	.29	.22	.16	.11	.07	.03	.00	.02	.10	.24	.30	.48	.56	.65	.72	.79	.86	.91
100	.29	.24	.20	.16	.11	.07	.03	.00	.02	.10	.23	.35	.44	.50	.58	.64	.70	.73	.76
90	.21	.19	.16	.12	.08	.05	.02	.00	.01	.07	.17	.26	.34	.39	.44	.49	.52	.56	.57
80	.17	.15	.12	.09	.07	.04	.01	.00	.01	.05	.13	.21	.27	.31	.34	.36	.38	.40	.41
70	.13	.12	.09	.07	.05	.03	.01	.00	.01	.04	.11	.17	.21	.23	.24	.25	.27	.28	.29
60	.10	.09	.07	.05	.04	.02	.00	.00	.01	.04	.07	.11	.15	.16	.16	.17	.17	.18	.18
50	.05	.04	.04	.03	.02	.01	.00	.00	.00	.02	.04	.06	.08	.09	.10	.10	.10	.09	.08
40	.04	.04	.03	.02	.01	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.04	.04	.04	.04	.04	.04	.04	.04
35	.03	.03	.02	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.02	.03	.03	.02	.02	.02	.02	.02
30	.02	.02	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01
25	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
20	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
17,5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01
15	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.01	.01
12,5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.01	.01
10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.01	.01
7,5	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.01	.01
5	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.03	.03	.04	.05	.05

[Joule pro Gramm] für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10mb
und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre
(O K T O B E R)

mb/° Breite	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1000	.33	.34	.35	.37	.32	.20	.09	.02	.00	.07	.25	.53	.90	1.41	2.00	2.67	3.34	3.88	4.25
900	.23	.23	.25	.27	.27	.17	.09	.01	.01	.08	.23	.43	.68	.98	1.35	1.76	2.18	2.50	2.65
800	.21	.21	.22	.24	.24	.17	.07	.01	.01	.09	.22	.40	.62	.86	1.14	1.43	1.67	1.81	1.90
700	.20	.20	.21	.24	.25	.10	.08	.01	.01	.08	.23	.42	.64	.89	1.17	1.46	1.71	1.88	1.95
600	.24	.24	.24	.26	.24	.19	.10	.01	.01	.09	.22	.45	.74	1.04	1.30	1.57	1.79	1.94	2.05
500	.33	.33	.32	.29	.23	.17	.10	.01	.01	.11	.29	.54	.83	1.12	1.45	1.75	2.03	2.21	2.30
400	.30	.40	.38	.32	.24	.15	.07	.01	.02	.13	.31	.54	.84	1.21	1.49	1.73	1.90	2.04	2.11
350	.39	.43	.40	.33	.24	.16	.08	.02	.03	.18	.36	.60	.90	1.25	1.51	1.68	1.83	1.95	2.05
300	.33	.35	.33	.27	.20	.12	.05	.01	.04	.13	.29	.47	.70	.92	1.13	1.29	1.40	1.48	1.54
280	.25	.28	.27	.23	.16	.11	.05	.01	.07	.17	.31	.47	.65	.73	.73	.76	.79	.79	.79
260	.10	.19	.19	.15	.11	.07	.03	.00	.07	.18	.29	.46	.19	.28	.34	.36	.36	.36	.35
240	.10	.11	.11	.09	.07	.04	.02	.00	.08	.18	.29	.17	.06	.11	.13	.13	.12	.12	.12
220	.03	.04	.04	.04	.02	.02	.00	.00	.10	.13	.09	.03	.01	.02	.02	.01	.01	.01	.01
200	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.00	.00
190	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.02	.02	.03	.03	.03	.03	.04
180	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.01	.03	.04	.05	.06	.06	.06	.07	.07
170	.03	.03	.02	.02	.02	.01	.01	.00	.00	.01	.03	.05	.07	.09	.10	.10	.10	.10	.10
160	.07	.06	.05	.03	.02	.02	.01	.00	.00	.02	.06	.09	.11	.13	.15	.15	.15	.15	.15
150	.10	.06	.04	.04	.03	.03	.01	.00	.00	.03	.07	.12	.16	.18	.20	.20	.21	.21	.21
140	.14	.12	.10	.07	.05	.03	.01	.00	.01	.05	.11	.17	.21	.25	.27	.27	.28	.28	.28
130	.20	.17	.12	.10	.07	.04	.02	.00	.02	.07	.16	.23	.28	.31	.33	.34	.35	.35	.35
120	.26	.21	.16	.12	.09	.05	.02	.00	.03	.10	.20	.29	.34	.38	.40	.41	.42	.43	.43
110	.31	.26	.20	.15	.11	.06	.01	.00	.03	.13	.25	.34	.39	.43	.44	.44	.45	.46	.47
100	.33	.30	.25	.17	.11	.06	.02	.00	.04	.16	.27	.37	.43	.46	.47	.48	.48	.48	.46
90	.25	.21	.18	.13	.08	.04	.01	.00	.03	.11	.20	.27	.32	.33	.33	.33	.32	.32	.32
80	.17	.13	.10	.06	.04	.03	.01	.00	.02	.09	.16	.21	.24	.24	.23	.22	.22	.21	.21
70	.13	.11	.07	.04	.02	.02	.00	.00	.01	.06	.11	.14	.16	.16	.15	.13	.11	.11	.11
60	.04	.07	.06	.04	.02	.01	.00	.00	.01	.03	.06	.09	.10	.09	.08	.06	.04	.03	.03
50	.04	.04	.03	.02	.01	.00	.00	.00	.01	.02	.04	.07	.04	.04	.02	.01	.00	.00	.00
40	.02	.02	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.02	.01	.01	.00	.00	.00	.01	.02	.02
35	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.04	.05	.05
30	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.04	.07	.09	.10
25	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.01	.02	.05	.08	.12	.15	.16
20	.00	.00	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.02	.05	.08	.13	.19	.23	.25
15	.00	.00	.00	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.01	.03	.05	.08	.11	.17	.22	.28
10	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.02	.04	.08	.11	.17	.22	.28	.30
5	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.00	.00	.00	.00	.02	.04	.08	.11	.17	.22	.28	.30
0	.04	.04	.02	.02	.02	.01	.01	.00	.00	.00	.01	.03	.06	.12	.19	.27	.35	.42	.45
	.04	.04	.04	.03	.03	.02	.01	.00	.00	.00	.02	.04	.09	.15	.25	.36	.44	.53	.57

Tabelle 4 : Integrand der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z
 [Joule pro Gramm] für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10mb
 und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

(N O V E M B E R)

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
mb/° Breite																			
1000	34	44	53	60	67	74	80	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	136	141
900	47	57	66	74	81	88	94	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155
800	30	39	48	56	64	71	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132	138	144	150
700	40	49	58	66	74	81	88	94	100	106	112	118	124	130	136	142	148	154	160
600	50	59	68	76	84	91	98	104	110	116	122	128	134	140	146	152	158	164	170
500	59	68	77	85	93	100	107	113	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180
400	64	73	82	90	98	105	112	118	124	130	136	142	148	154	160	166	172	178	184
350	65	74	83	91	99	106	113	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174	180	186
300	51	60	69	77	85	92	100	107	113	120	126	132	138	144	150	156	162	168	174
280	35	44	53	61	69	77	85	92	100	107	113	120	126	132	138	144	150	156	162
260	25	34	43	51	59	67	75	83	91	99	106	114	122	130	138	146	154	162	170
240	17	26	35	43	51	59	67	75	83	91	99	106	114	122	130	138	146	154	162
220	17	26	35	43	51	59	67	75	83	91	99	106	114	122	130	138	146	154	162
200	07	16	25	33	41	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121	129	137	145	153
190	01	10	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	107	115	123	131	139	147
180	00	09	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122	130	138	146
170	01	10	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	107	115	123	131	139	147
160	03	12	21	29	37	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	125	133	141	149
150	07	16	25	33	41	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121	129	137	145	153
140	11	20	29	37	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	125	133	141	149	157
130	16	25	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122	130	138	146	154	162
120	21	30	39	47	55	63	71	79	87	95	103	111	119	127	135	143	151	159	167
110	27	36	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	125	133	141	149	157	165	173
100	34	43	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124	132	140	148	156	164	172	180
90	37	46	55	63	71	79	87	95	103	111	119	127	135	143	151	159	167	175	183
80	31	40	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121	129	137	145	153	161	169	177
70	24	33	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122	130	138	146	154	162	170
60	15	24	33	41	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121	129	137	145	153	161
50	08	17	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122	130	138	146	154
40	03	12	21	29	37	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	125	133	141	149
35	01	10	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	107	115	123	131	139	147
30	00	09	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122	130	138	146
25	01	10	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	107	115	123	131	139	147
20	00	09	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122	130	138	146
17,5	07	16	25	33	41	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121	129	137	145	153
15	04	13	22	30	38	46	54	62	70	78	86	94	102	110	118	126	134	142	150
12,5	05	14	23	31	39	47	55	63	71	79	87	95	103	111	119	127	135	143	151
10	00	09	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122	130	138	146

Tabelle 4 : Integrand der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z
 [Joule pro Gramm] für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10mb
 und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

(D E Z E M B E R)

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1000	66	66	62	54	37	21	06	00	04	19	44	80	1,21	1,73	2,25	2,81	3,33	3,65	3,84
900	56	56	55	47	37	21	04	00	07	23	46	73	1,02	1,37	1,71	2,03	2,29	2,49	2,60
800	51	51	51	47	36	21	05	00	07	23	50	74	1,08	1,21	1,46	1,66	1,81	1,92	1,97
700	54	54	53	47	33	20	04	00	09	27	50	74	1,00	1,26	1,52	1,74	1,92	1,99	2,05
600	64	64	60	56	44	24	05	00	10	30	57	85	1,12	1,42	1,73	2,01	2,21	2,34	2,40
500	72	70	64	59	47	27	08	00	11	36	73	1,01	1,32	1,63	1,93	2,19	2,42	2,56	2,61
400	81	77	70	60	46	26	07	01	15	37	63	97	1,25	1,55	1,84	2,06	2,20	2,32	2,37
350	84	78	68	57	38	21	05	02	14	33	56	92	1,17	1,46	1,66	1,90	2,06	2,18	2,23
300	61	56	50	38	25	15	05	01	11	27	42	62	1,83	1,48	1,13	1,28	1,40	1,47	1,51
280	46	42	37	28	18	07	03	04	12	28	29	27	43	57	71	84	95	1,02	1,05
260	33	27	25	17	13	07	02	06	17	31	11	13	22	35	45	55	63	70	75
240	21	17	16	11	07	04	01	07	18	12	02	05	12	18	25	32	39	44	40
220	07	00	02	05	03	02	00	07	09	02	01	02	05	08	12	16	21	24	20
200	02	01	01	01	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	03	05	08	11	12
190	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	03	04	07	07
180	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	00	00	01	02	04	04
170	02	02	02	02	01	00	00	00	02	03	03	03	02	01	00	00	01	02	02
160	06	05	04	03	02	01	00	01	03	06	07	07	05	03	01	00	00	00	01
150	10	08	07	05	03	01	00	01	04	08	10	10	08	06	03	01	00	00	00
140	15	14	11	07	04	01	00	01	06	13	17	15	12	09	06	03	01	00	00
130	22	17	15	10	06	02	00	01	07	17	23	21	17	13	08	04	02	01	01
120	27	26	21	15	08	02	00	02	09	21	30	27	25	19	12	08	04	03	02
110	36	33	28	21	13	07	00	03	12	25	39	36	33	25	17	11	07	05	05
100	44	40	34	27	16	04	00	05	15	30	44	45	41	31	21	14	10	08	06
90	47	36	30	23	14	04	00	04	13	25	39	44	37	27	18	13	09	07	07
80	25	22	19	15	07	02	00	02	08	16	26	27	23	16	11	06	04	02	02
70	18	16	13	07	05	01	00	02	06	13	19	17	14	09	04	02	01	00	00
60	07	06	05	04	03	01	00	01	04	08	11	07	05	02	00	00	01	02	03
50	02	02	02	01	01	00	01	01	03	04	05	03	01	00	01	03	06	09	12
40	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	00	00	02	06	12	17	23	27
35	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	00	00	01	06	12	18	26	32	30
30	00	00	01	00	00	01	01	01	01	00	00	00	04	10	20	29	37	44	40
25	00	00	01	01	01	01	01	01	00	00	00	02	08	16	27	39	49	56	60
20	01	01	02	02	03	03	00	01	00	00	01	04	12	22	36	47	61	69	72
15	03	03	03	03	03	03	00	01	00	00	02	07	15	26	42	57	69	77	80
10	04	04	04	04	04	04	00	01	00	00	03	09	18	31	47	65	77	87	90
5	05	06	05	05	05	05	01	01	00	01	05	12	23	39	58	77	90	1,00	1,04
0	10	10	10	07	06	06	04	02	00	01	07	17	23	48	78	86	1,04	1,15	1,19

mb/° Breite

7,5
5
2,5
0

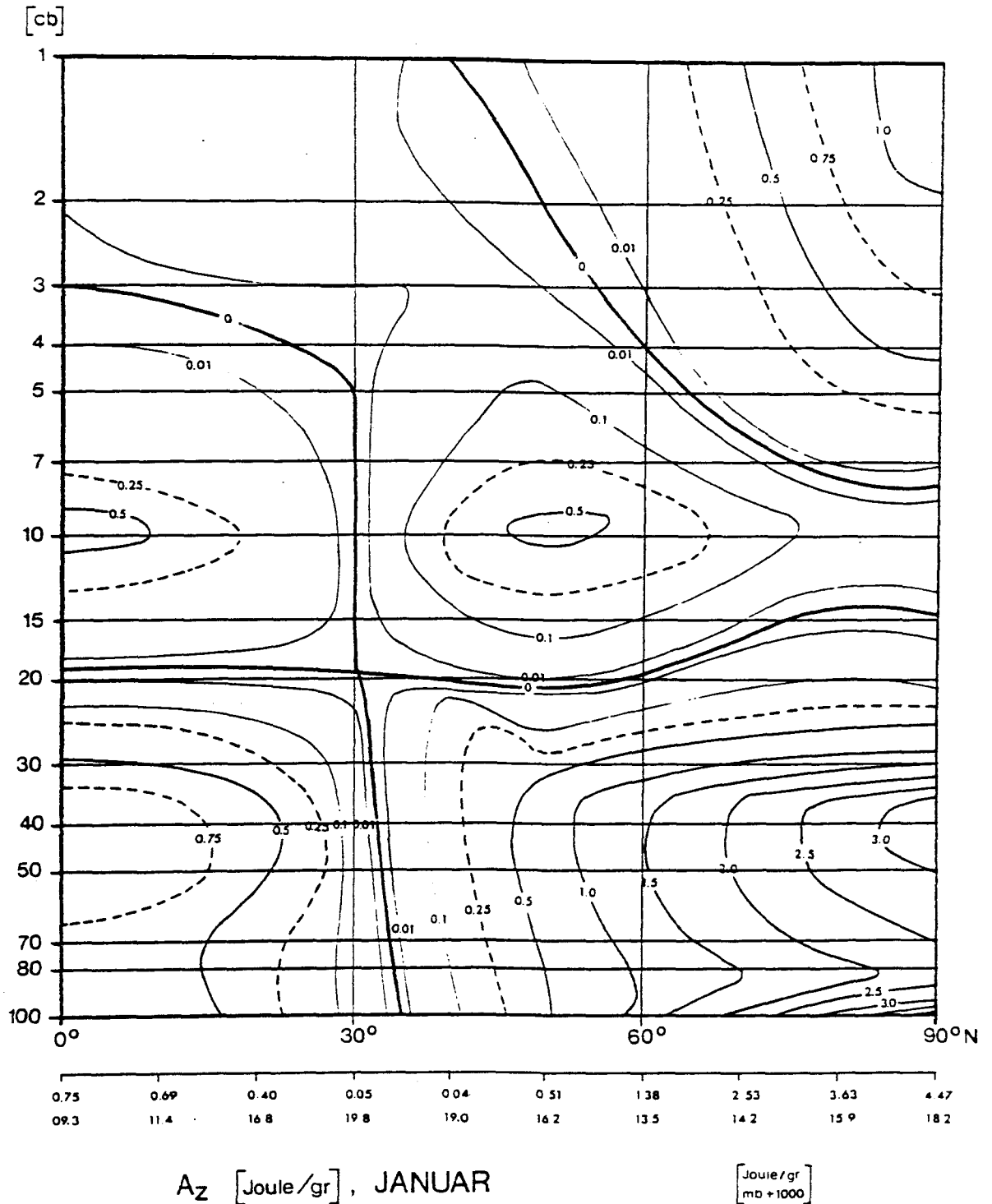


Abb.1. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre) der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit Joule pro Gramm im Januar für die Nordhalbkugel und für das Höhenintervall von 1000 bis 10mb.

Unter der Abb. Angaben von A_z für den Erdboden zusammen mit Angaben für den variablen Bodenluftdruck in mb.

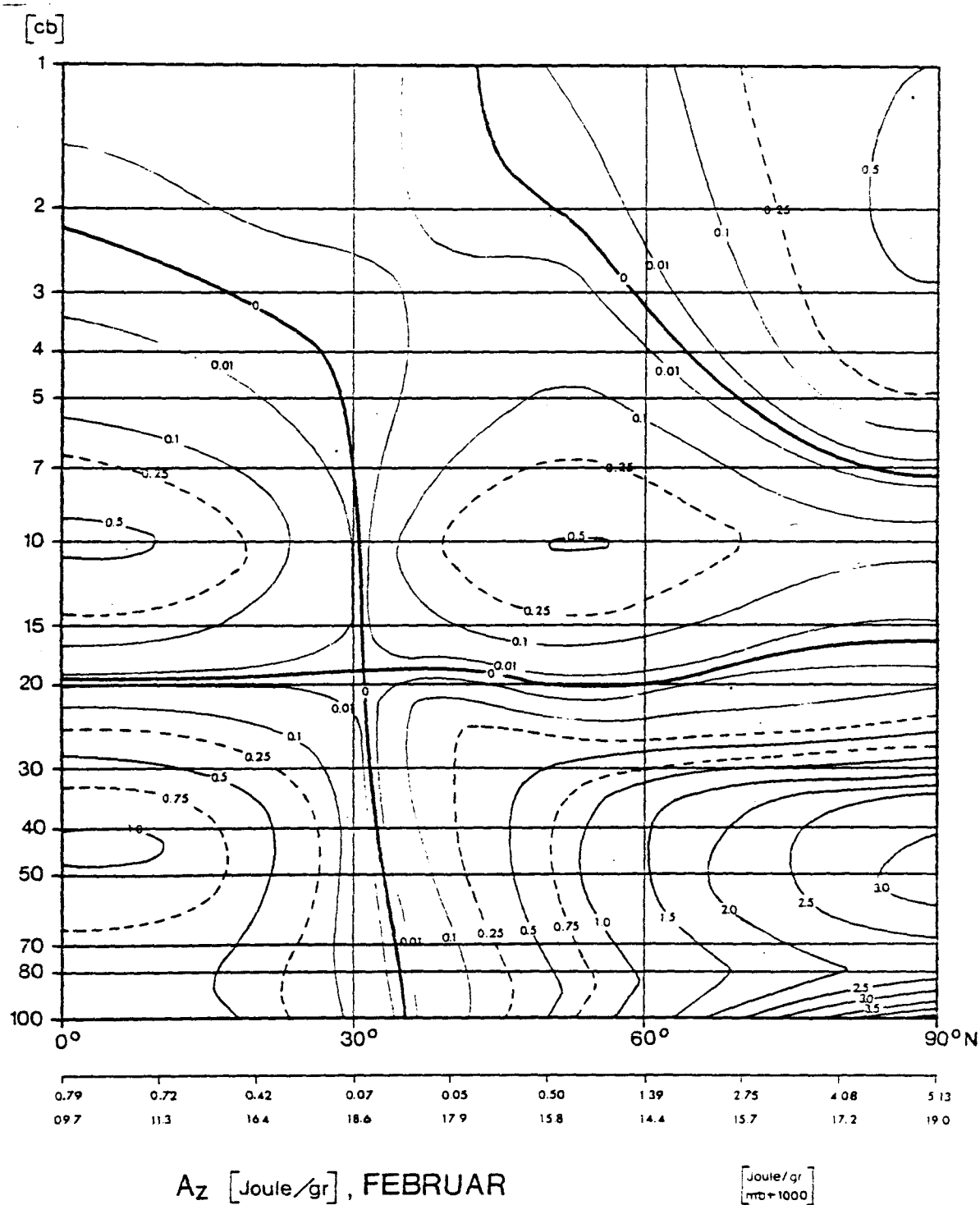


Abb.2. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre) der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit Joule pro Gramm im Februar für die Nordhalbkugel und für das Höhenintervall von 1000 bis 10mb.

Unter der Abb. Angaben von A_z für den Erdboden zusammen mit Angaben für den variablen Bodenluftdruck in mb.

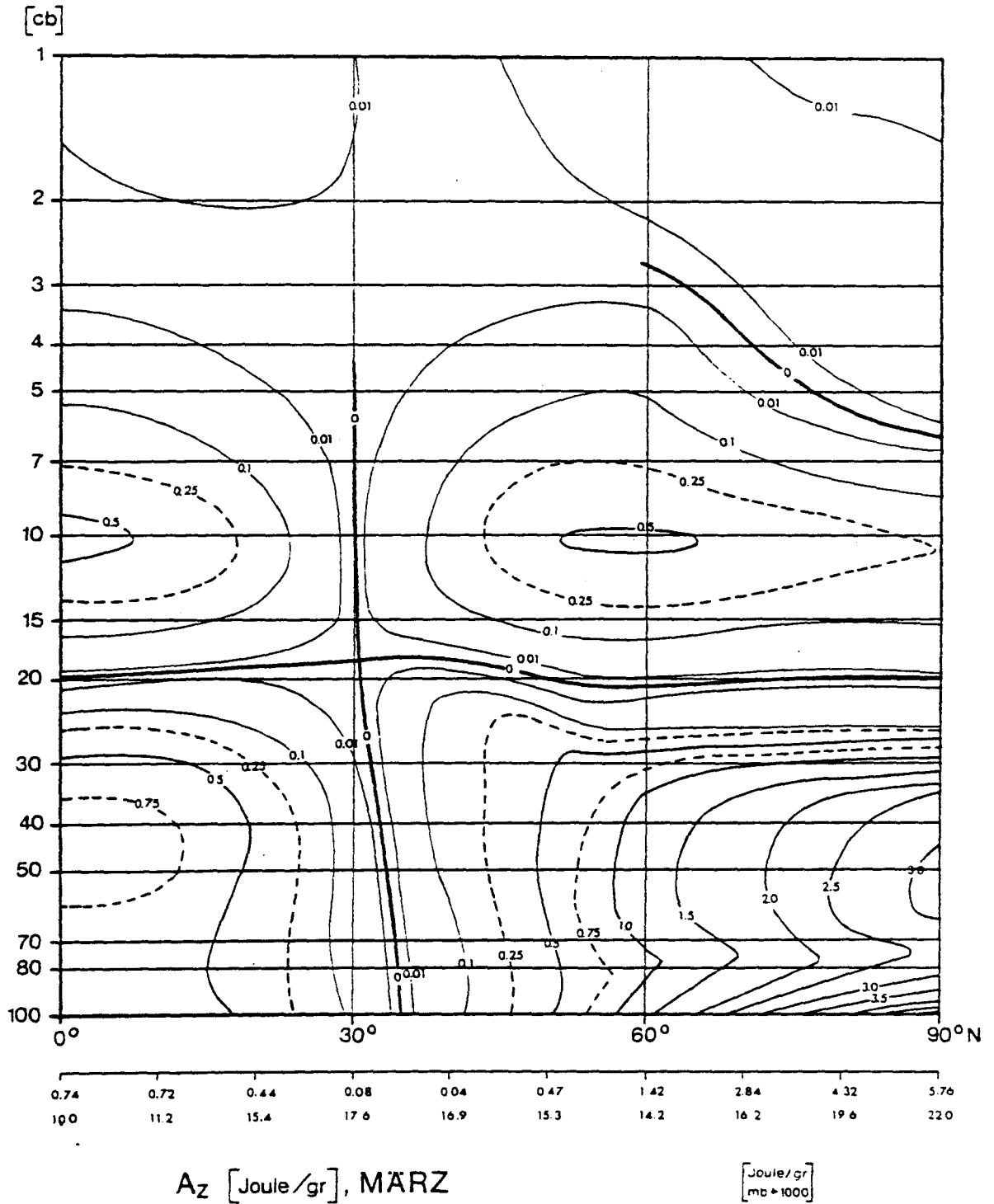
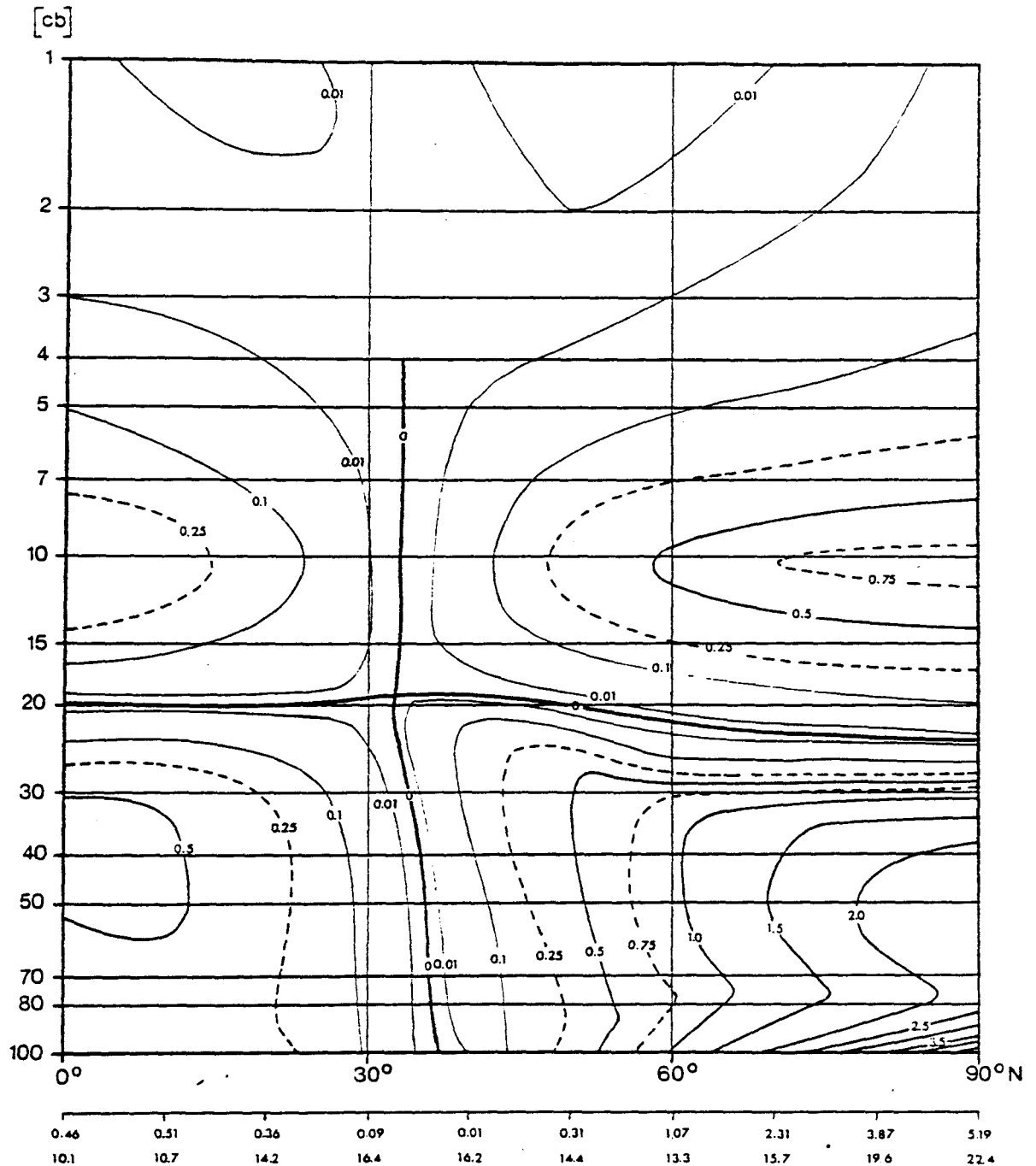


Abb.3. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre) der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit Joule pro Gramm im März für die Nordhalbkugel und für das Höhenintervall von 1000 bis 10mb.

Unter der Abb. Angaben von A_z für den Erdboden zusammen mit Angaben für den variablen Bodenluftdruck in mb.



A_z [Joule /gr], APRIL

[Joule /gr]
[mb + 1000]

Abb.4. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre) der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit Joule pro Gramm im April für die Nordhalbkugel und für das Höhenintervall von 1000 bis 10mb.

Unter der Abb. Angaben von A_z für den Erdboden zusammen mit Angaben für den variablen Bodenluftdruck in mb.

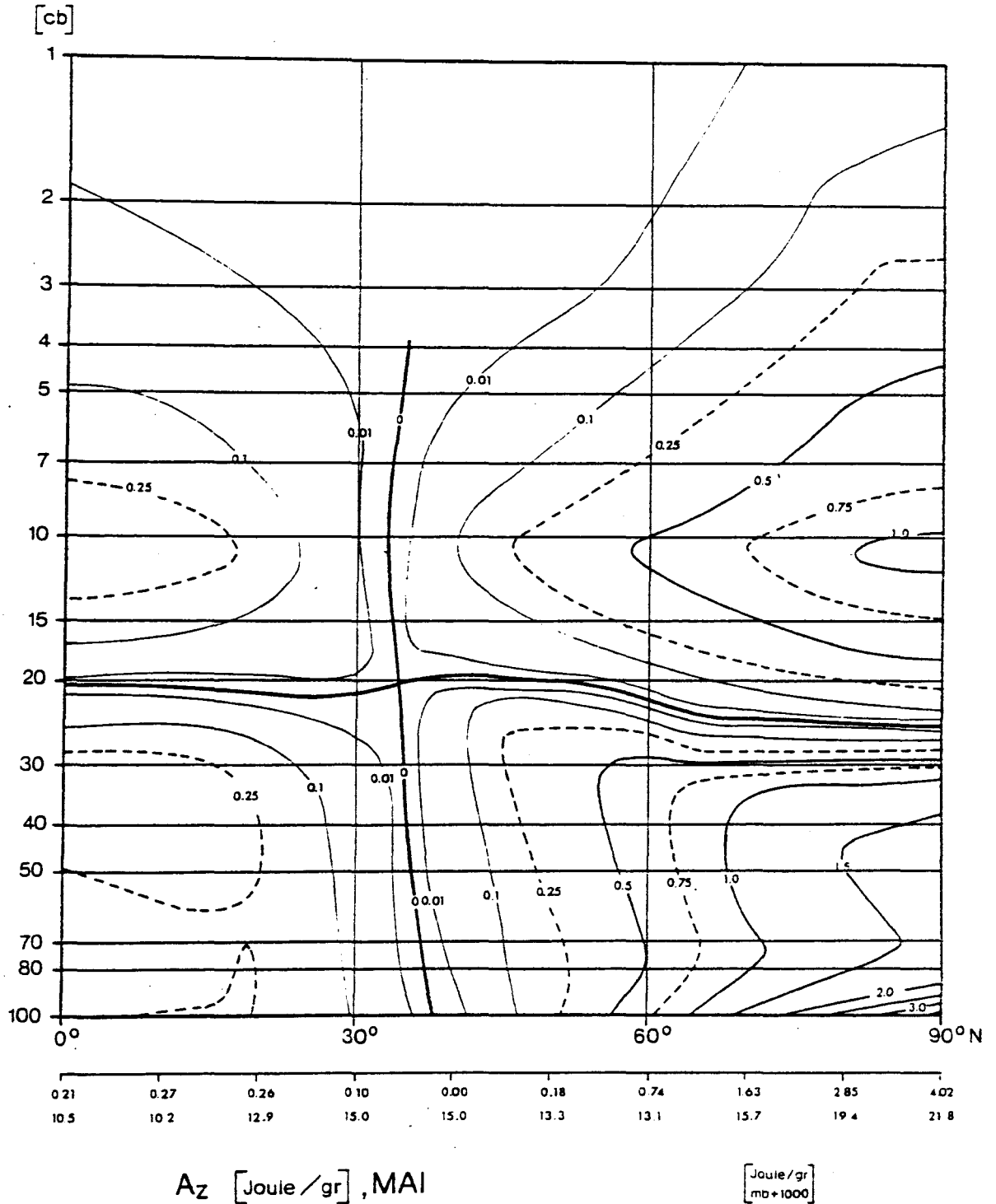


Abb.5. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre) der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit Joule pro Gramm im Mai für die Nordhalbkugel und für das Höhenintervall von 1000 bis 10mb.

Unter der Abb. Angaben von A_z für den Erdboden zusammen mit Angaben für den variablen Bodenluftdruck in mb.

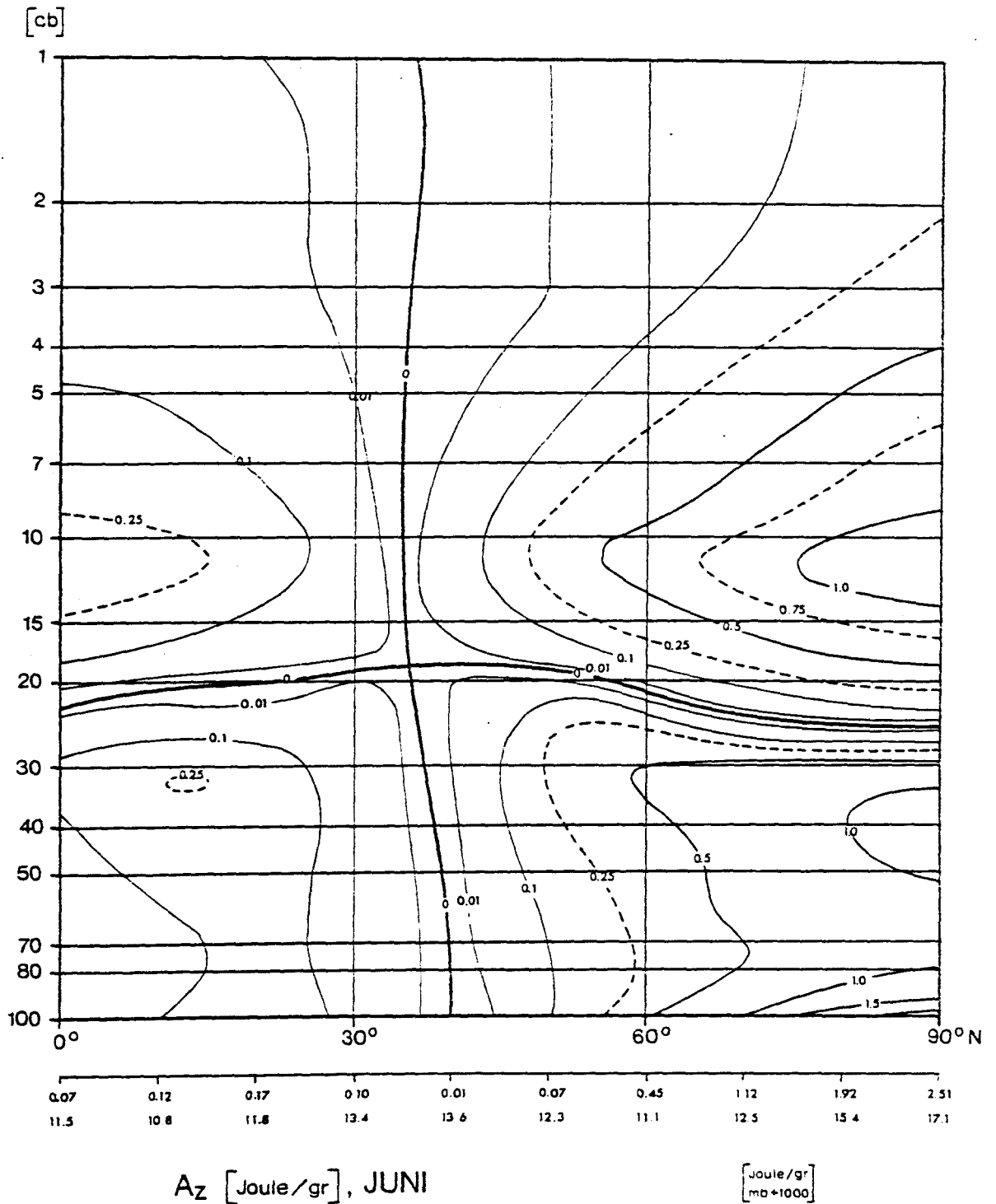


Abb.6. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre) der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit Joule pro Gramm im Juni für die Nordhalbkugel und für das Höhenintervall von 1000 bis 10mb.

Unter der Abb. Angaben von A_z für den Erdboden zusammen mit Angaben für den variablen Bodenluftdruck in mb.

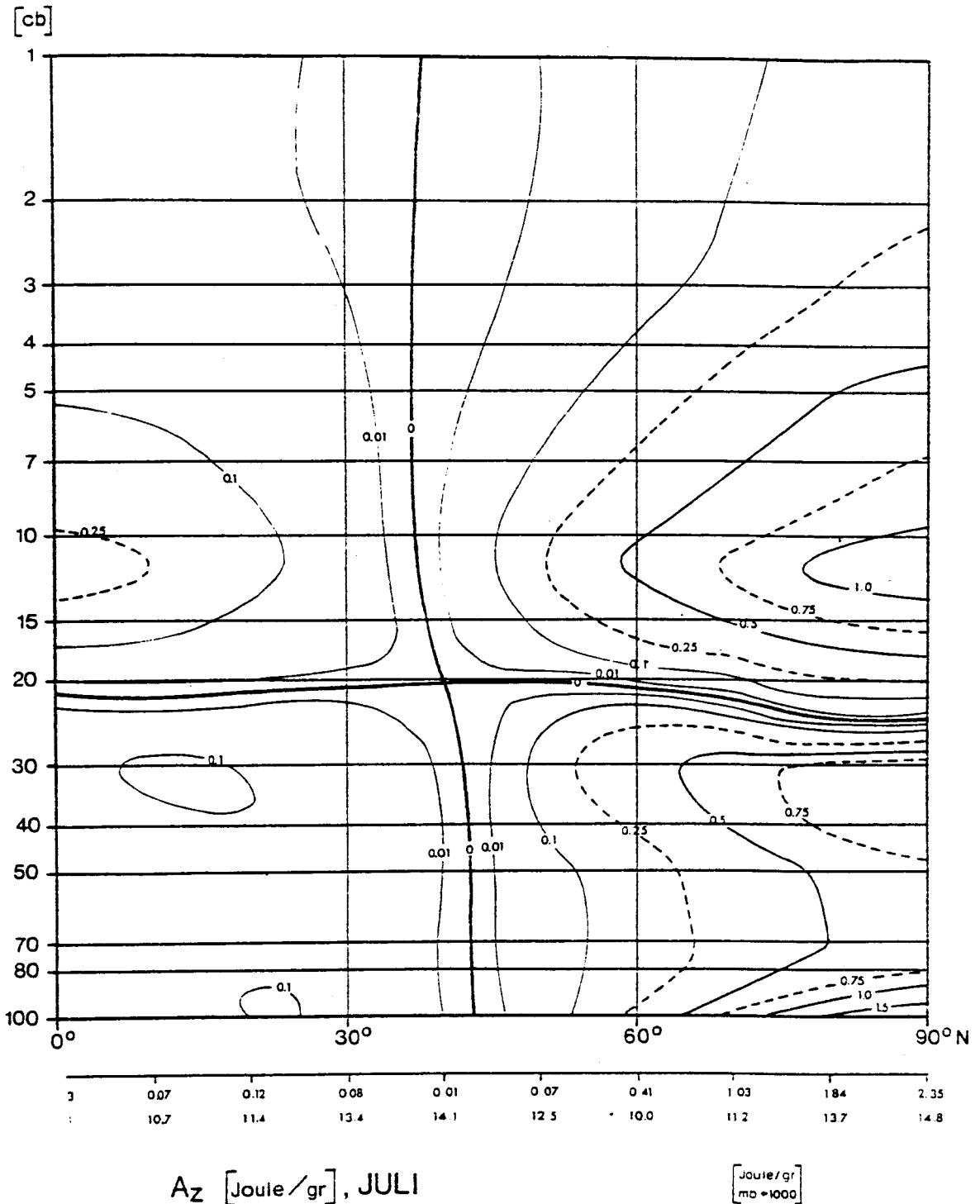


Abb.7. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre) der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit Joule pro Gramm im Juli für die Nordhalbkugel und für das Höhenintervall von 1000 bis 10mb.

Unter der Abb. Angaben von A_z für den Erdboden zusammen mit Angaben für den variablen Bodenluftdruck in mb.

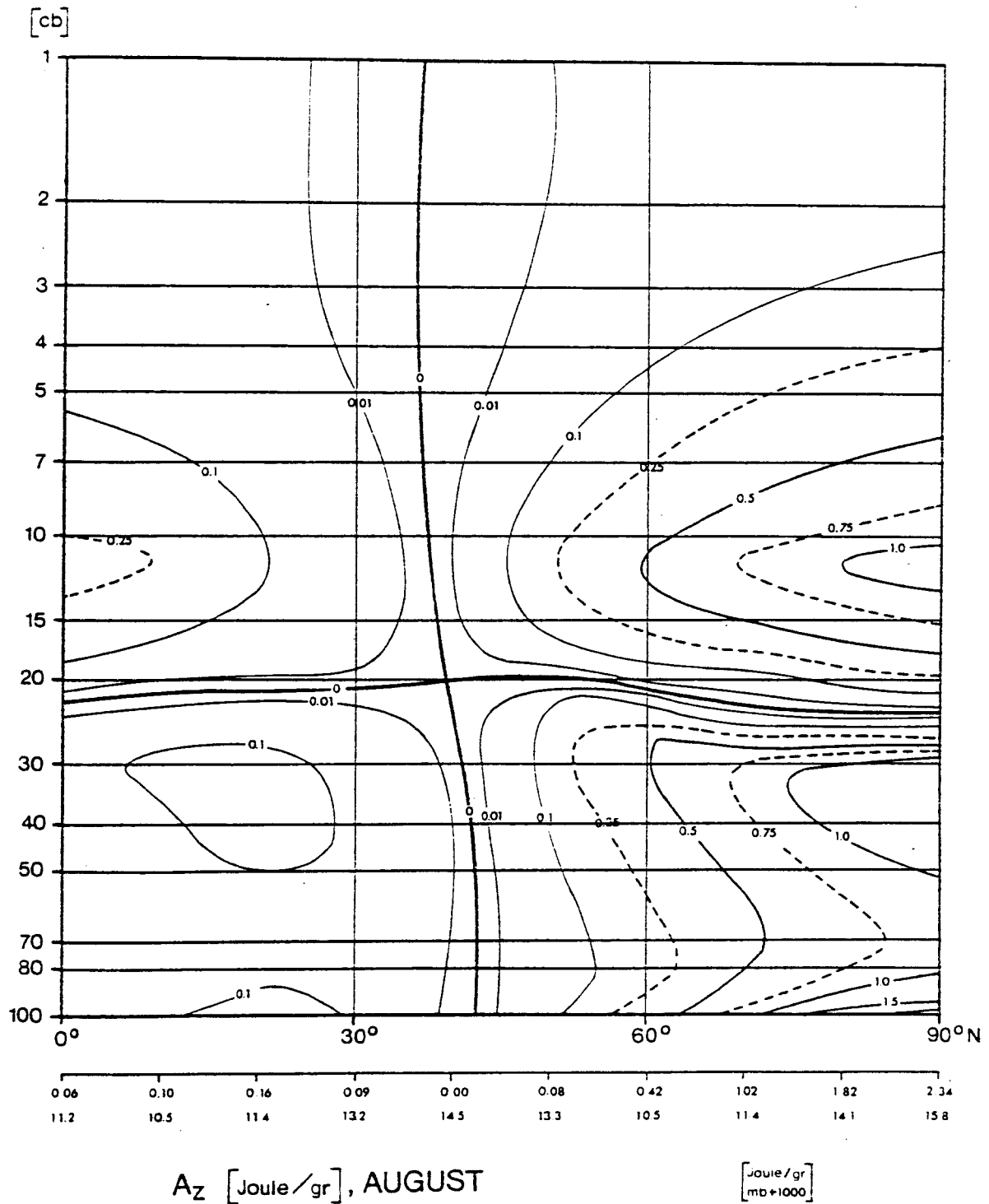
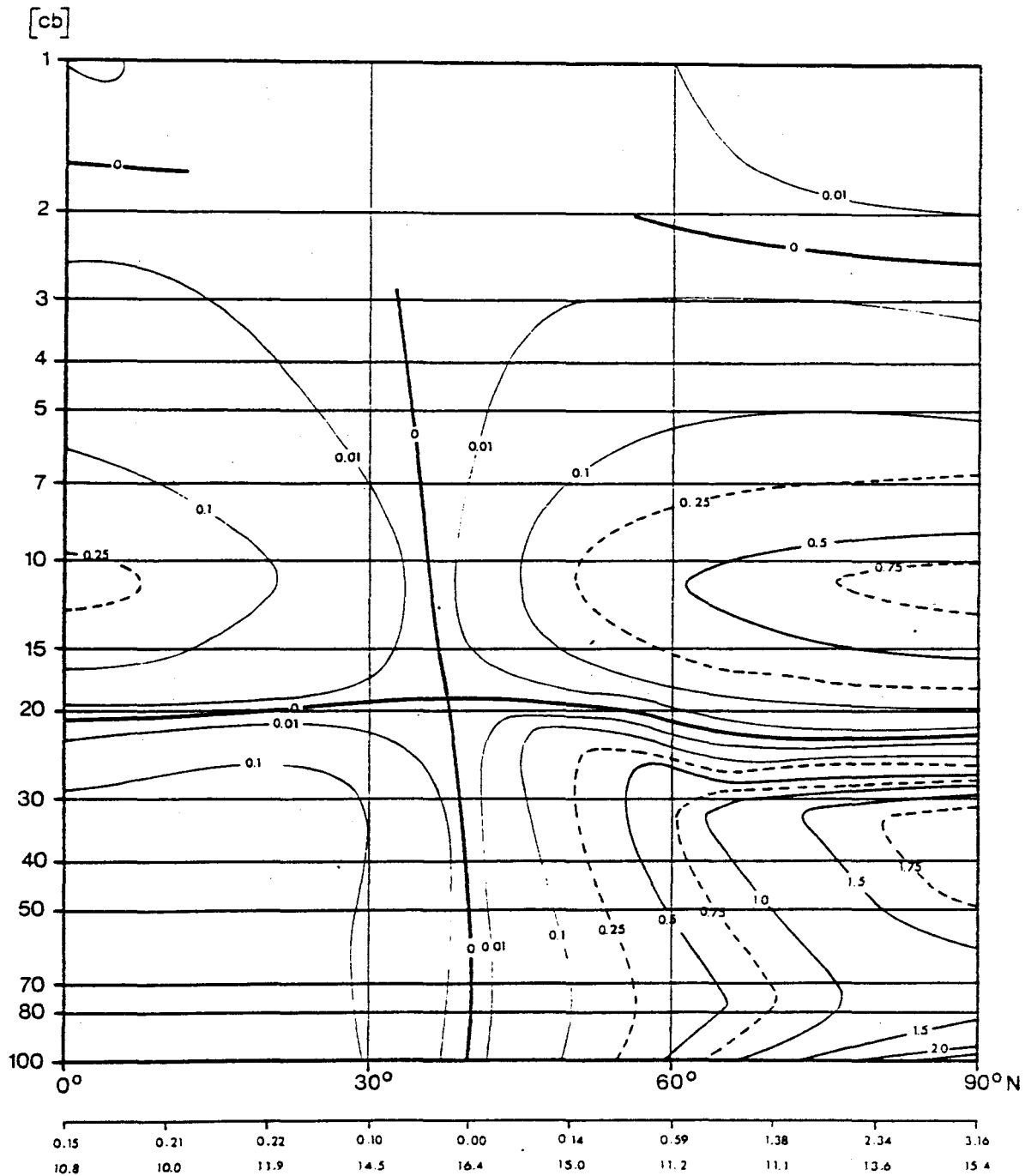


Abb.8. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre) der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit Joule pro Gramm im August für die Nordhalbkugel und für das Höhenintervall von 1000 bis 10mb.

Unter der Abb. Angaben von A_z für den Erdboden zusammen mit Angaben für den variablen Bodenluftdruck in mb.



A_z [Joule/gr], SEPTEMBER

[Joule/gr
mb +1000]

Abb.9. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre) der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit Joule pro Gramm im September für die Nordhalbkugel und für das Höhenintervall von 1000 bis 10mb.

Unter der Abb. Angaben von A_z für den Erdboden zusammen mit Angaben für den variablen Bodenluftdruck in mb.

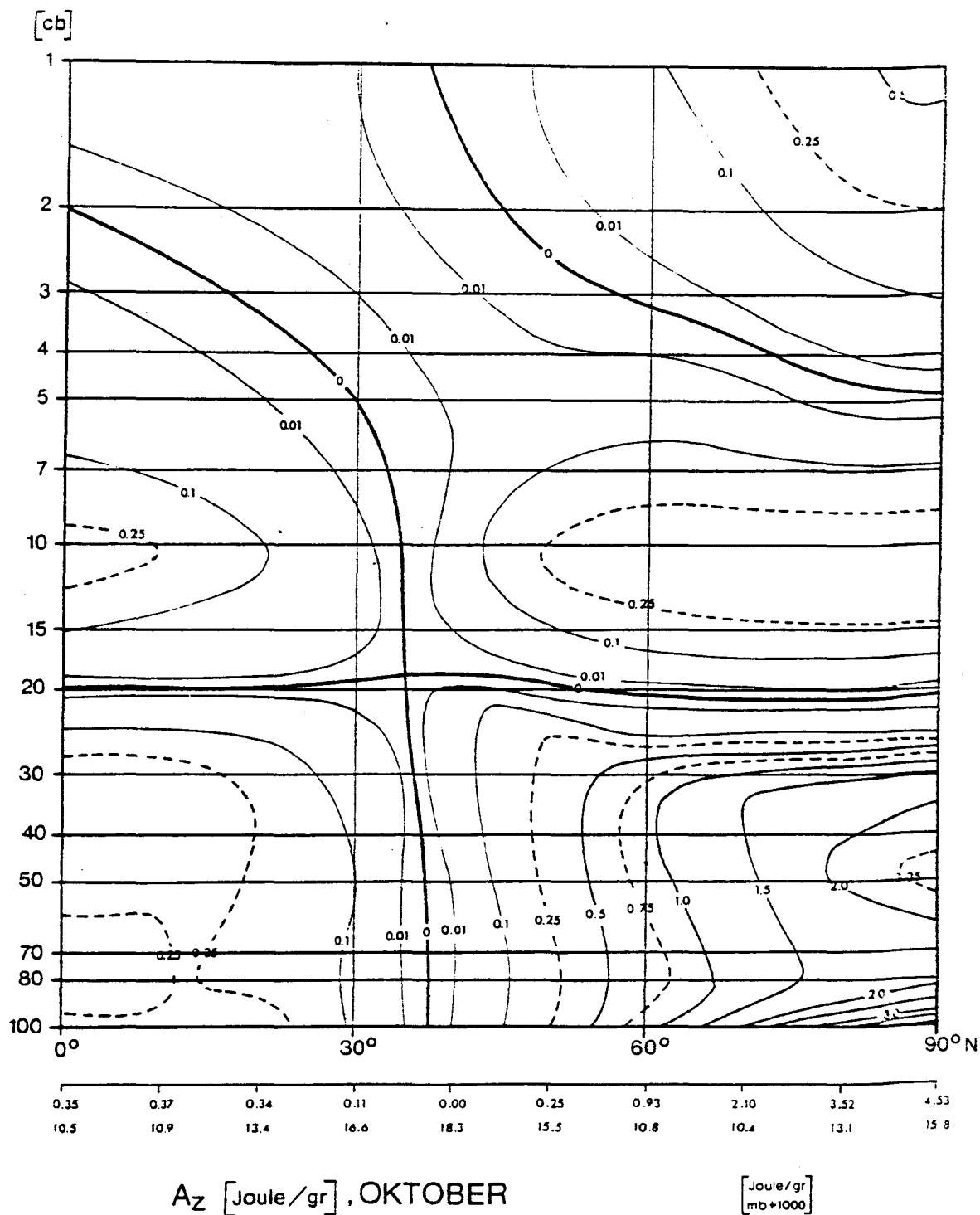
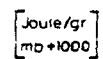
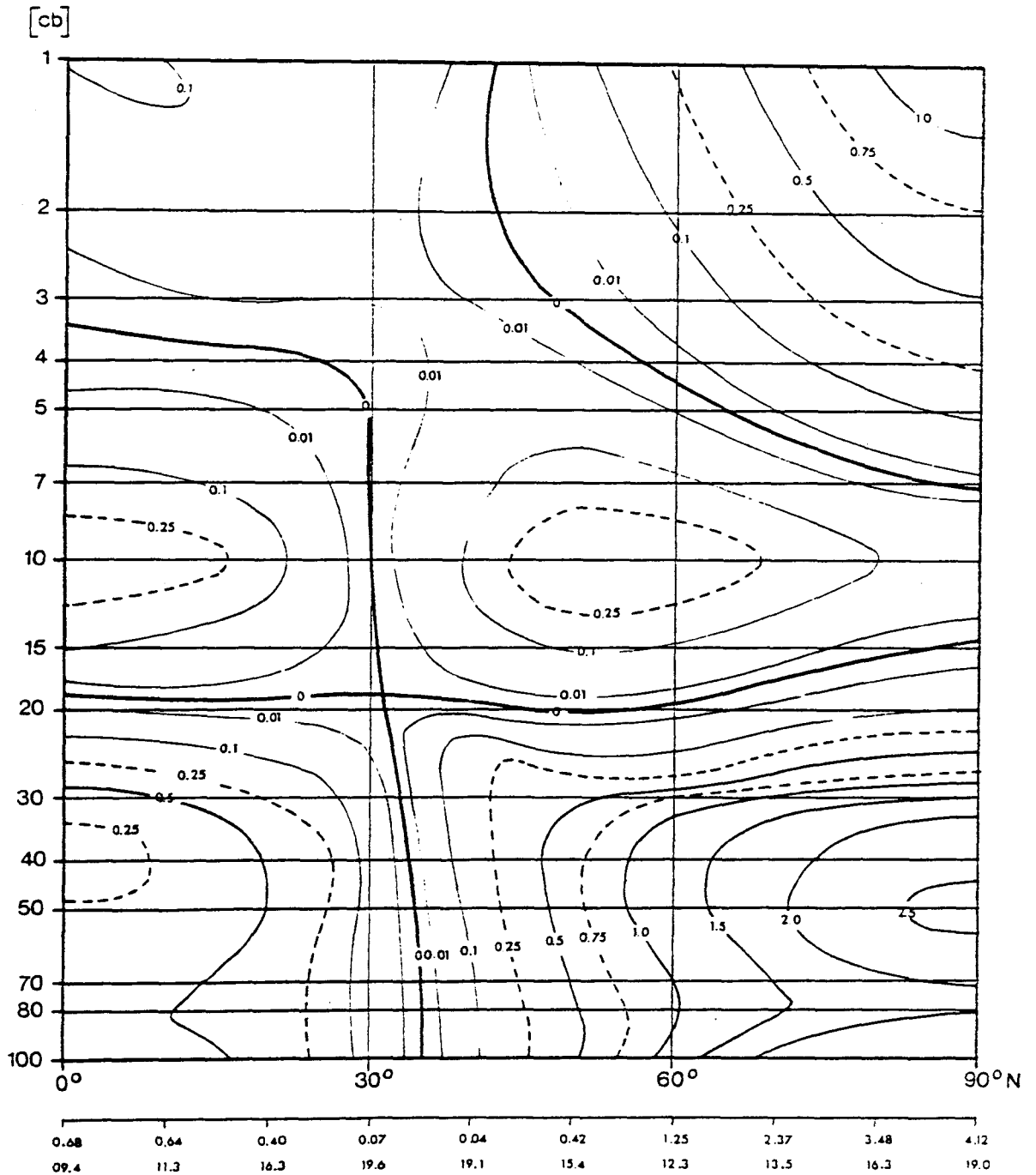


Abb.10.Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre) der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit Joule pro Gramm im Oktober für die Nordhalbkugel und für das Höhenintervall von 1000 bis 10mb.

Unter der Abb. Angaben von A_z für den Erdboden zusammen mit Angaben für den variablen Bodenluftdruck in mb.



Unter der Abb. Angaben von A_z für den Erdboden zusammen mit Angaben für den variablen Bodenluftdruck in mb.



A_z [Joule / gr], DEZEMBER

[Joule/gr
mb + 1000]

Abb.12.Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre) der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in der Einheit Joule pro Gramm im Dezember für die Nordhalbkugel und für das Höhenintervall von 1000 bis 10mb.

Unter der Abb. Angaben von A_z für den Erdboden zusammen mit Angaben für den variablen Bodenluftdruck in mb.

Über den tropischen Breiten und in der Zeit von März bis Oktober bleiben die A_z -Beträge mäßig oder klein, wobei stets nahe 35°N eine vertikal orientierte Nulllinie die polaren bzw. tropischen Bereiche trennt.

Dies sind ohne spezielle Angabe von Gründen die Haupteigenheiten der A_z -Verteilung in einem über 10 Jahre gemittelten Meridionalschnitt, gültig im wesentlichen für alle Monate des Jahres.

Die nachfolgende detailliertere Diskussion der Abb. 1 bis 12 soll eine noch genauere Information über die Ursachen der angesprochenen Eigenheiten präsentieren.

Januar (siehe Abb. 1)

T r o p o s p h ä r e :

In der Polregion (ca. 70°N - 90°N) erkennt man neben einem Maximum nahe der 500 mb-Fläche im 1000 mb-Niveau noch ein ausgeprägtes A_z -Maximum von im Mittel 3.5 bis 4.5 Joule pro Gramm, welche durch die im Winter dort nicht wirksame Sonneneinstrahlung und die nahe dem Eis sich ausbildende polare Temperaturinversion (Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e von ca. 40°C , siehe Formel (3.15) bedingt sind. Für den Äquatorbereich ergeben sich infolge der hier wirksamen Sonneneinstrahlung und der damit verbundenen geringeren Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e A_z -Werte von nur ca. 0,5 Joule pro Gramm.

Ein absolutes energetisches Minimum (Nulllinie) von A_z findet sich in etwa 35°N und trennt die beiden ausgeprägten troposphärischen A_z -Maxima. Der Kernbereich des A_z -Maximums in etwa 400 mb-Höhe über der Polregion weist einen Wert von etwas mehr als 3,0 Joule pro Gramm auf, der durch den hier existenten hohen meridionalen Temperaturgradienten von nahezu 25°C (Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e nach Formel (3.15) mit einem hier in diesem Niveau relativ hohen Stabilitätsfaktor γ (Formel (3.8)) positiv korreliert wird.

Das über den Tropen in etwa 400 mb erkennbare A_z -Maximum besitzt entsprechend seiner geringen Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e von ca. 10°C einen A_z -Wert von nur 0,75 Joule pro Gramm.

Aufwärts bis etwa zur 200 mb-Druckfläche erfolgt nun eine generelle Abnahme der A_z -Werte über allen Breiten und dort stellt sich ein energetisches Minimum (Nulllinie) ein. Dieses ist verursacht durch den nahezu verschwindenden meridionalen Temperaturgradienten an der Obergrenze der Troposphäre ($(T')_p \approx 0$).

S t r a t o s p h ä r e :

Oberhalb des 200 mb-Niveaus im unteren Teil der unteren Stratosphäre erfolgt nun wieder eine Zunahme der A_z -Werte mit wachsender Höhe bis zu einem sekundären Maximum in Nähe der 100 mb-Druckfläche über den Tropen mit 0,5 Joule pro Gramm und über den mittleren Breiten bei ca. 50°N , wo ebenfalls 0.5 Joule pro Gramm erreicht werden. Diese beiden Maxima sind einerseits für die Tropische Region durch die sehr kalten Temperaturen an der tropischen primären Tropopause (nahe 100 mb) und andererseits durch die relativ warmen Temperaturen oberhalb des polaren Strahlstroms (polar limit) verursacht. Obwohl die Abweichungen vom Flächenmittelwert dort recht groß sind, verursacht der in der Stratosphäre stark reduzierte Stabilitätsfaktor γ (siehe Tabelle 1) nur A_z -Werte mit relativ geringerer Größenordnung, verglichen mit den troposphärischen Maxima.

Ein weiteres deutliches Maximum über der engeren Polregion im Druckintervall von ca. 20 bis 10 mb mit einem A_z -Wert von etwas über 1,0 Joule pro Gramm resultiert aus einer hohen Temperaturabweichung vom Temperaturflächenmittel T_e von ca. 25°C , die ihre Ursache in der winterlichen Abkühlung der Stratosphäre findet und diese wiederum steht in enger ursächlicher Beziehung zum polaren Nachtjet.

Februar (siehe Abb. 2)

T r o p o s p h ä r e :

Der Monat Februar zeigt, verglichen mit den Januar-Verhältnissen keine wesentlichen Veränderungen in der A_z -Verteilung, wohl aber eine quantitative Änderung speziell im Äquatorbereich zwischen 400 mb und 500 mb mit einer Verstärkung des A_z -Maximums bis über 1,0 Joule pro Gramm.

S t r a t o s p h ä r e :

In der unteren Stratosphäre verkleinert sich in 100 mb-Höhe der Kernbereich des etwa über 45°N - 55°N gelegenen sekundären Maximums, während sich der Kernbereich des über der Polregion gelegenen A_z -Maximums in ca. 30 - 10 mb-Höhe quantitativ auf etwa die Hälfte des Januar-Wertes (0,5 Joule pro Gramm) reduziert.

März (siehe Abb. 3)

T r o p o s p h ä r e :

Auch für den Monat März ergeben sich im troposphärischen Bereich keine wesentlichen Veränderungen, verglichen mit Januar oder Februar. Eine quantitative Reduktion des über der Äquatorregion gelegenen A_z -Maximums zwischen ungefähr 500 - 400 mb infolge höherer Sonneneinstrahlung und der daraus resultierenden geringeren Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e auf nun 0,75 Joule pro Gramm, ist die wohl einzige erwähnenswerte Änderung.

S t r a t o s p h ä r e :

Der jetzt schon reduziertere Sonneneinstrahlungswinkel relativ zu nordhemisphärischen lokalen Zenitwinkeln und die damit verbundene erhöhte Strahlungseffizienz, welche eine stratosphärische Gegenbaroklinität erzeugte, deutet bereits eine Transfertendenz für das sich in 100 mb-Höhe, jetzt mit seinem Kernbereich von ca. 45°N bis fast 70°N befindliche, sekundäre A_z -Maximum gegen nördlichere Breiten an.

Allmählich verschiebt sich das Maximum, welches in den Vormonaten über etwa 50°N nahe der 100 mb-Fläche situiert war, polwärts. Dies ist eine Folge der im März einsetzenden Erwärmung der polaren Stratosphäre durch die jetzt mehr und mehr wirksame Einstrahlung. Aus dem gleichen Grunde zeigt sich auch im oberen Teil der unteren Stratosphäre eine wesentliche strukturelle Veränderung der A_z -Verteilung über dem engeren Polbereich. Das markante A_z -Maximum der Wintermonate verschwindet fast ganz und es sind nur noch kleine Werte von A_z von 0,01 Joule pro Gramm feststellbar (Ende der polaren Nacht).

April (siehe Abb. 4)

T r o p o s p h ä r e :

Im Monat April erfolgt - verglichen mit dem März - für die beiden troposphärischen A_z -Maxima zwischen 400 und 500 mb eine quantitative Reduktion, welche im Polbereich 2,0 Joule pro Gramm und im Äquatorbereich 0,5 Joule pro Gramm ausmacht. Ferner verschiebt sich das absolute energetische A_z -Minimum (Nulllinie) nordwärts bis $37,5^\circ\text{N}$ infolge der für diesen Monat merklich höheren Sonneneinstrahlung in den tropischen Breiten der Nordhemisphäre.

S t r a t o s p h ä r e :

Die sich im Monat März andeutende Nordwärts-Verschiebung des A_z -Maximums in 100 mb setzt sich im April fort (ausgeprägtes und verstärktes A_z -Maximum über der Polregion von ca. 70°N bis 90°N mit 0,75 Joule pro Gramm). Das korrespondierende tropische Maximum nahe 100 mb erscheint gegenüber dem März in seiner Stärke auf die Hälfte reduziert.

Die Gegenbaroklinität in dem unteren Teil der unteren Stratosphäre erstreckt sich im April vom Pol bis zum Äquator. Im oberen Teil der unteren Stratosphäre treten nur mehr geringe A_z -Werte in Erscheinung (Zeit der Umstellung der winterlichen Westwind- in die sommerliche Ostwindzirkulation).

Mai (siehe Abb. 5)

T r o p o s p h ä r e :

Im Monat Mai verstärkt sich in der Troposphäre im äquatorialen Bereich die Abschwächungstendenz des A_z -Maximums in der oberen Troposphäre (durch die nun schon recht hohe solare Einstrahlung und der damit verbundenen geringeren Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e). Konform dazu reduziert sich die Intensität des polaren A_z -Maximums auf ca. 1,5 Joule pro Gramm (Abschwächung des meridionalen Temperaturgefälles).

Stratosphäre :

In der Stratosphäre ist in ungefähr 100 mb-Höhe nur im Polbereich eine weitere Verstärkung des A_z -Maximums von 0,75 im April auf mehr als 1,0 Joule pro Gramm festzustellen.

Juni (siehe Abb. 6)

Troposphäre :

Im Monat Juni mit seiner nun höchsten Sonneneinstrahlung (am 21. Juni erreicht die Erde die Solstitial-Linie und somit ihren geringsten Zenitwinkel zwischen Ekliptik und einer auf der Nordhemisphäre betrachteten geographischen Breite) setzt sich die Auflösungstendenz des A_z -Maximums in der oberen Troposphäre im äquatorialen Bereich konsequent fort (mit einem jetzt aktuellen A_z -Wert von 0,25 Joule pro Gramm zwischen dem 350 mb-300 mb-Niveau).

In der 1000 mb-Druckfläche des Polbereichs reduzierte sich entsprechend auch der A_z -Wert des polaren A_z -Maximums ca. um ein gutes Drittel auf nun etwa 2,2 Joule pro Gramm und auch im Druckintervall zwischen 500 - 350 mb schwächt sich das polare A_z -Maximum auf 1,0 Joule pro Gramm weiter ab. Das absolute energetische A_z -Minimum (Nulllinie) verschiebt sich bis ungefähr 40°N weiter nordwärts.

Stratosphäre :

In der Stratosphäre ergaben sich bezüglich der quantitativen als auch qualitativen A_z -Verteilung, verglichen zu jener im Monat Mai, keine relevanten Veränderungen.

Juli (siehe Abb. 7)

Troposphäre :

Für den Monat Juli weist die meridionale A_z -Verteilung innerhalb der Troposphäre eine weitere quantitative Reduktion auf (der Polbereich zeigt das A_z -Maximum im Intervall zwischen 500 mb bis 300 mb mit 0,75 Joule pro Gramm und im

äquatorialen Bereich in ca. 350 mb). Diese quantitative A_z -Reduktion läßt sich auf die für den Monat Juli nochmals geringere Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e zurückführen (ca. $7,5^{\circ}\text{C}$ zwischen Pol und 45°N sowie ebenfalls $7,5^{\circ}\text{C}$ zwischen Äquator und 45°N). Da die Temperaturabweichung vom Temperaturflächenmittel T_e gemäß Formel (3.6) quadratisch für A_z eingeht, ist das quantitativ geringe A_z -Resultat der betrachteten A_z -Maxima trotz des für den sommerlichen Zeitraumes (Juni, Juli, August) des in diesen Niveaus maximalen Stabilitätsfaktors γ sowie einer relativ hohen troposphärischen Massenverteilung verständlich.

Die Nulllinie oder das absolute energetische Minimum von A_z ist bis ca. 45°N weiter polwärts verschoben und erfährt somit vom Januar bis Juli eine jahreszeitliche Breitengradvariation von etwa 10 Breitengraden (im Januar ca. 35°N , im Juli ca. 45°N).

S t r a t o s p h ä r e :

In der Stratosphäre ergaben sich bezüglich der quantitativen - als auch der qualitativen Struktur der A_z -Verteilung keine wesentlichen Veränderungen gegenüber dem Monat Juni. Die Wirksamkeit geringerer Dichte oder Masse als auch des kleineren Stabilitätsfaktors γ zeigt sich hier insofern, daß in der Stratosphäre trotz der relativ hohen Abweichungen vom Temperaturflächenmittel T_e (ca. 11°C im Äquatorbereich und ca. 20°C im Polbereich) nicht annähernd so große A_z -Werte erreicht werden wie in der Troposphäre. Die veränderliche Gegenbaroklinität der Stratosphäre verursacht eine jahreszeitliche Verschiebung des A_z -Maximums im Druckintervall zwischen ungefähr 150 mb und 100 mb von einer Januar-Lage bei 50°N bis zu einer polaren Juli-Lage hin. Der obere Teil der unteren Stratosphäre enthält wieder sehr wenig an zonal verfügbarer potentieller Energie A_z (im Mittel nur etwa 0,05 Joule pro Gramm).

Stratosphäre :

Im unteren Teil der Stratosphäre macht sich im Polbereich eine durch die bereits reduzierte Gegenbaroklinität der Einfluß einer beginnenden quantitativen Reduktion des A_z -Maximums unterhalb der 100 mb-Fläche auf nunmehr 0,75 Joule pro Gramm bemerkbar.

Im oberen Stratosphärenteil des Polbereichs oberhalb von ca. 20 mb zeigen sich wieder im Vergleich mit dem Monat August erstmals Ansätze zur Ausbildung des winterlichen A_z -Maximums (0,01 Joule pro Gramm).

Oktober (siehe Abb. 10)

Troposphäre :

Die A_z -Verteilung im Monat Oktober weist schon fast wieder eine Struktur charakteristisch für die Wintermonate auf. In der Troposphäre sind im Pol- als auch im Äquatorbereich wieder höhere A_z -Werte vorhanden (Polbereich in ca. 450 mb mit 2,25 Joule pro Gramm und in Bodennähe > 4,0 Joule pro Gramm; Äquatorbereich mit 0,25 Joule pro Gramm). Das absolute energetische A_z -Minimum (Nulllinie) hat sich kontinuierlich bis etwa 37,5°N weiter südwärts verlagert.

Stratosphäre :

Im unteren Teil der Stratosphäre ist nahe der 100 mb-Fläche im Vergleich zum Monat September über der Polregion eine merkliche quantitative Reduktion des A_z -Maximums erkennbar. Gleichzeitig weitet sich dieses Maximum wieder südwärts aus und versucht, sich vom Pol zu lösen.

(Allmähliche Errichtung einer Gegenbaroklinität zwischen Äquator und dem mittleren Breitenbereich bei herbstlicher Abkühlung der polaren Atmosphäre).

Im oberen Teil der Stratosphäre intensiviert sich verstärkt das winterliche A_z -Maximum und quantitativ werden dort bereits 0,5 Joule pro Gramm überschritten (siehe auch obere Stratosphäre im Monat Januar auf S. 49).

November (siehe Abb. 11)

T r o p o s p h ä r e :

Im Monat November verstärkt sich der Gegensatz zwischen Äquator und Pol weiter und wird bereits der winterlichen A_z -Struktur recht ähnlich. In der Troposphäre erhöhten sich die A_z -Maxima in ungefähr 400 mb-Höhe im Polbereich auf 2,25 Joule pro Gramm und im Äquatorbereich auf 0,5 Joule pro Gramm. Die Nulllinie ist nun in 35°N zu lokalisieren, also nochmals weiter südwärts verlagert. (Wiederverstärkung der troposphärischen Baroklinität im Spätherbst).

S t r a t o s p h ä r e :

Das im Monat September noch in der Polregion befindliche A_z -Maximum hat zum November hin den Pol verlassen und sich mit seinem Kernbereich wieder über den nördlichen mittleren Breiten festgesetzt, während das A_z -Maximum im Äquatorbereich sich auf 0,5 Joule pro Gramm verstärkte.

Das in der oberen Stratosphäre wieder seit Oktober existente polare A_z -Maximum expandierte seinen Kernbereich zum November hin erheblich und intensivierte sich weiter.

Dezember (siehe Abb. 12)

T r o p o s p h ä r e :

Für den Monat Dezember ergeben sich entsprechend der für diesen Monat geringsten Sonneneinstrahlung schon fast maximale A_z -Werte. Im Polbereich in 500 mb erhöht sich der Wert des A_z -Maximums auf $> 2,5$ Joule pro Gramm, während sich im Äquatorbereich in ca. 400 mb das A_z -Maximum auf 0,25 Joule pro Gramm abschwächte. Die Trennlinie zwischen beiden findet sich bei etwa 35°N in Nähe ihrer Winterposition.

Stratosphäre :

Im unteren Teil der Stratosphäre herrscht nahezu quantitative und qualitative Übereinstimmung der Lage und Intensität der A_z -Maxima im Monat November. In der oberen Stratosphäre weist das dort über der Polregion zu lokalisierende A_z -Maximum einen bezüglich des Vormonats nun verdoppelten Wert von 1,0 Joule pro Gramm auf (rapide Auskühlung des oberen Teils der Stratosphäre).

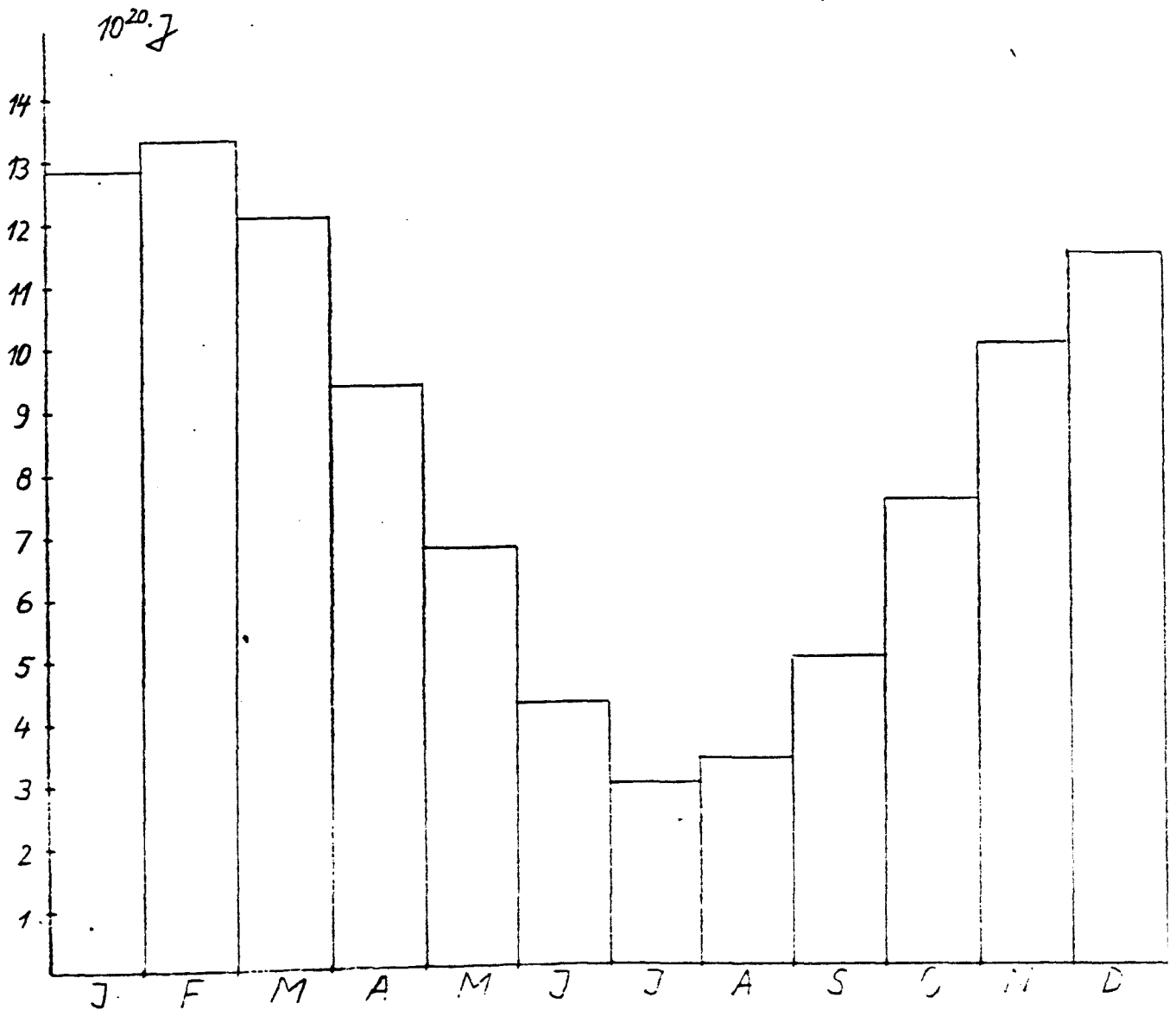
4.2. DIE GESAMTMENGE AN ZONAL VERFÜGBARER POTENTIELLER ENERGIE A_z ENTHALTEN IN DER GESAMTEN ATMOSPHERE (1000 - 10 mb) UND IHRE VARIATION IM JAHRESABLAUF

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die meridionale Verteilung der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z separat für jeden Monat des Jahres und als Mittelergebnis für 10 Jahre sowohl bildlich als auch durch eine eingehende Diskussion der auf diesen Bildern erkennbaren Eigenheiten in den Verteilungen eine Darlegung erfahren haben, wurden im folgenden Integrationsergebnisse für einzelne Breitenzonen bzw. Druckintervalle in der Vertikalen präsentiert.

Als erstes werden solche Integrationsergebnisse für A_z für die gesamte Atmosphäre vom Äquator bis zum Pol und von 1000 mb aufwärts bis zur 10 mb-Fläche vorgelegt.

Die Abb. 13 zeigt den total integrierten Jahresgang über die gesamte Atmosphäre der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z in der absoluten Einheit 10^{20} Joule. Der geringen winterlichen Sonneneinstrahlung und der damit verbundenen hohen Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e (Formel (3.15)) entsprechend, dominieren die A_z -Werte im Winter (Dezember, Januar, Februar). Für den sommerlichen Zeitraum (Juni, Juli, August) sind minimale A_z -Werte mit einem absoluten Minimum im Monat Juli durch die für diesen Monat typisch hohe atmosphärische Aufheizung der polaren Regionen mit entsprechenden Reduzierungen des meridionalen Temperaturgefälles und den somit geringen Abweichungen vom Temperaturflächenmittel T_e zu verzeichnen. Es ist eine kontinuierliche Reduktion der winterlichen A_z -Maxima zu einem

Abb.13. Jahresgang der Menge von A_z in Einheiten von 10^{20} Joule gültig für die gesamte Atmosphäre der Nordhalbkugel (0 bis 90 , 1000 bis 10mb).



Energiesummen von A_z für das gesamte Jahr, für Jahreszeiten und für Einzelmonate sowie Jahreszeitenmittelwerte.

[10^{20} Joule] bzw. [10^5 Joule pro m^2]

Gesamtfläche der Nordhalbkugel = $2,5503 \cdot 10^{14} m^2$.

Energiesummen von A_z über 4 Jahreszeiten (von je 3 Monaten):

Winter:	37,44	$10^{20} J$	\cong	146,8	$10^5 J/m^2$
Frühling:	28,04	$10^{20} J$	\cong	110,0	$10^5 J/m^2$
Sommer:	10,36	$10^{20} J$	\cong	40,6	$10^5 J/m^2$
Herbst:	22,35	$10^{20} J$	\cong	87,6	$10^5 J/m^2$

Jahreszeitenmittelwerte von A_z :

Winter:	12,48	$10^{20} J$	\cong	48,9	$10^5 J/m^2$
Frühling:	9,35	$10^{20} J$	\cong	37,7	$10^5 J/m^2$
Sommer:	3,45	$10^{20} J$	\cong	13,5	$10^5 J/m^2$
Herbst:	7,45	$10^{20} J$	\cong	29,2	$10^5 J/m^2$

Energiesummen von A_z für die einzelnen Monate des Jahres:

1	12,309	$10^{20} J$	\cong	50,2	$10^5 J/m^2$
2	13,254	$10^{20} J$	\cong	52,0	$10^5 J/m^2$
3	12,050	$10^{20} J$	\cong	47,2	$10^5 J/m^2$
4	9,2989	$10^{20} J$	\cong	36,5	$10^5 J/m^2$
5	6,6953	$10^{20} J$	\cong	26,3	$10^5 J/m^2$
6	4,1575	$10^{20} J$	\cong	16,3	$10^5 J/m^2$
7	2,8715	$10^{20} J$	\cong	11,3	$10^5 J/m^2$
8	3,3302	$10^{20} J$	\cong	13,1	$10^5 J/m^2$
9	4,9591	$10^{20} J$	\cong	19,4	$10^5 J/m^2$
10	7,4519	$10^{20} J$	\cong	29,2	$10^5 J/m^2$
11	9,9372	$10^{20} J$	\cong	39,0	$10^5 J/m^2$
12	11,373	$10^{20} J$	\cong	44,6	$10^5 J/m^2$

Energie Σ

von A_z	98,19	$10^{20} J$	\cong	3,85	$10^7 J/m^2$
über alle					
12 Monate					

absoluten A_z -Minimum im Monat Juli und ein stetig erfolgreicher Anstieg der A_z -Werte zum winterlichen Zeitraum hin zu erkennen.

Das absolute Maximum tritt im Februar mit $13,25 \cdot 10^{20}$ Joule (siehe Tabelle 5) oder $52,0 \cdot 10^{15}$ Joule/m² in Erscheinung. Das absolute Minimum im Juli beträgt hingegen nur $2,87 \cdot 10^{20}$ Joule bzw. $11,3 \cdot 10^5$ Joule/m², d.h. etwa nur ein Viertel des winterlichen Spitzenwertes. Die Tabelle 5 präsentiert genaue Summenwerte für die einzelnen Monate des Jahres sowie die vier Jahreszeiten (jeweils 3 Monate) getrennt. Auch sind Jahreszeitenmittelwerte (Jahreszeitensumme: 3) enthalten.

Im gesamten Jahr beträgt die Menge an zonal verfügbarer potentieller Energie A_z insgesamt $98,19 \cdot 10^{20}$ Joule (oder $3,85 \cdot 10^7$ J/m²) für die Nordhalbkugel allein.

Zertrennt man jetzt die vorstehend präsentierten Gesamtsummen in solche betreffend die Troposphäre und die untere Stratosphäre für sich allein (1000 mb bis Tropopause, Tropopause bis 10 mb), wobei die variable Höhenlage der Tropopause möglichst genau berücksichtigt wurde, so ergeben sich die Summenwerte, dargestellt in Abb. 14 und 15.

Die A_z -Variation von Monat zu Monat, separat für die Troposphäre (Abb. 14) und für die Stratosphäre (Abb. 15), sind ihrer Form nach und auch quantitativ sehr unterschiedlich. Die A_z -Variation gültig für die Troposphäre ist entsprechend der hohen solaren Strahlungsvariation und der daraus resultierenden großen differentiellen Abweichungen vom Temperaturflächenmittel T_e (Formel (3.15)) im winterlichen Zeitraum (Dezember, Januar, Februar) groß und entsprechend im Sommer minimal mit einem absoluten A_z -Minimum für den Monat Juli. Innerhalb der winterlichen Periode ist das A_z -Maximum innerhalb der Troposphäre im Monat Februar zu verzeichnen. Bis zu einem absoluten sommerlichen A_z -Minimum des Monats Juli erfolgt eine kontinuierliche Reduktion der A_z -Werte im Frühling, um anschließend in der herbstlichen Periode wieder gleichmäßig bis zum winterlichen A_z -Maximum anzusteigen. Diese Veränderlichkeit, gültig für die gesamte Troposphäre, ist jener gültig für die Gesamtatmosphäre (siehe frühere Abb. 13) fast identisch.

Abb.14.

Jahresgang der Menge von A_z in Einheiten von 10^{20} Joule gültig für die gesamte Troposphäre der Nordhalbkugel (0 bis 90 , 1000mb bis Tropopause).

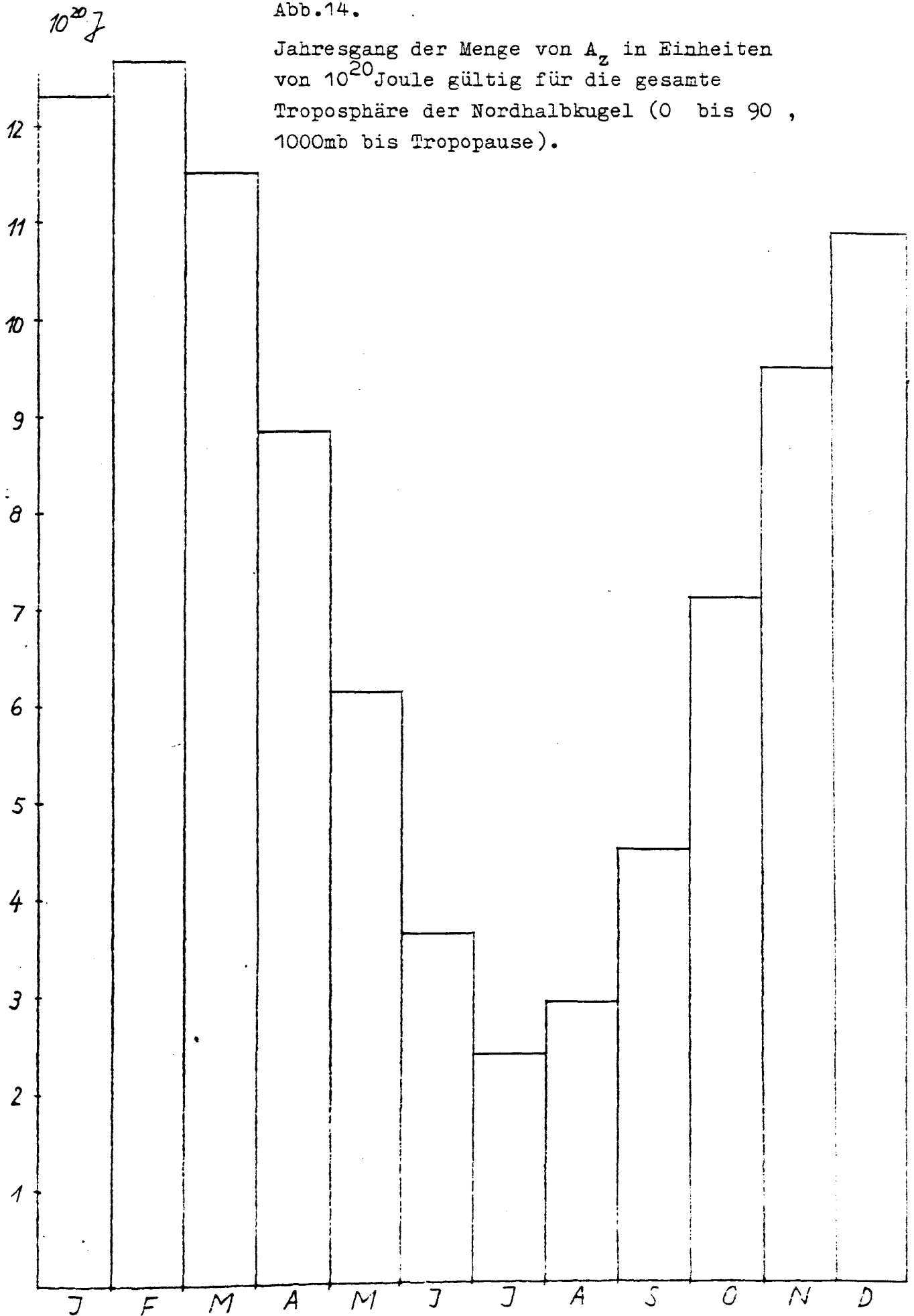
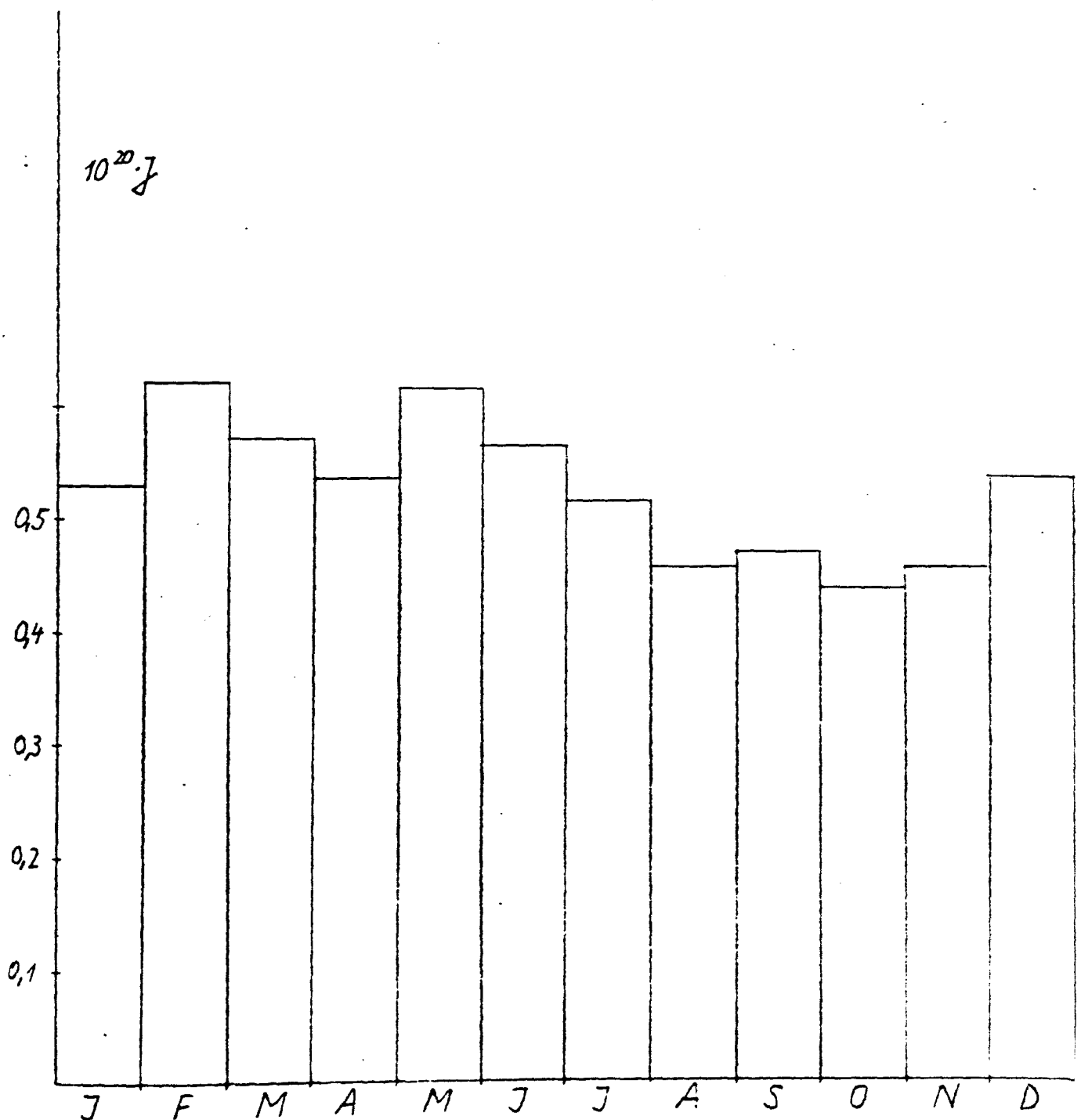


Abb.15. Jahresgang der Menge von A_z in Einheiten von 10^{20} Joule gültig für die gesamte untere Stratosphäre der Nordhalbkugel (0 bis 90°, Tropopause bis 10mb).



Daher ist die in Abb. 15 präsentierte stratosphärische A_z -Variation relativ zu der troposphärischen quantitativ und qualitativ gering (etwa nur 5 % im Winter, 17 % im Sommer). Auch zeigt sich im Ablauf des Jahres dort eine schwächere Variation von Monat zu Monat, wobei die maximalen Summen etwa zwischen Februar und Mai auftreten (ca. $0,6 \cdot 10^{20}$ Joule und die minimalen Summen zwischen August und November (zwischen $0,4$ bis $0,5 \cdot 10^{20}$ Joule).

Siehe zu diesem Abschnitt auch die Zahlenwerte der Tabelle 6, in der horizontalen $\}$ -Zeile des jeweiligen Monats und die Spalten (2) + (3).

Im nächsten Schritt wird eine andere Zerlegung insofern getätigt, als nunmehr für die gesamte Atmosphäre eine Separation zwischen einem Bereich mit Westwind- und einem solchen mit Ostwind-Zirkulationsregime vorgenommen und A_z für diese Bereiche summiert wird.

Die Abb. 16 und 17 stellen diesen Jahresgang von A_z , gültig für die gesamte Atmosphäre (1000 mb bis 10 mb) im Westwind- (Abb. 16), als auch im Ostwindbereich (Abb. 17) dar. Die A_z -Variation innerhalb des Westwindbereiches (siehe Abb. 16) weist erneut die früher beschriebene Struktur auf (im Winter mit maximalen und im Sommer mit minimalen A_z -Werten). Zwischen den winterlichen A_z -Maxima im Januar und dem absoluten sommerlichen A_z -Minimum im Juli erfolgt im Frühling eine kontinuierliche Reduktion bzw. in der herbstlichen Periode eine Zunahme der A_z -Werte. Der Abfall der Summenwerte im Frühjahr (April - Juni) erfolgt recht unstetig, der Anstieg im Herbst dagegen gleichmäßiger. In der Winterzeit (Dezember bis März) zeigt die Verteilung näherungsweise gleiche Werte (Plateau). Dies sind typische Merkmale der Westwinddrift der Atmosphäre. Jedoch addiert sich im Winter zur troposphärischen Westwinddrift noch die stratosphärischen Polaren Nacht-Westwinde. In der Sommerzeit bleiben die Westwinde auf die Troposphäre beschränkt. Für den Ostwindbereich kann man eine generell ähnliche A_z -Verteilung (siehe Abb. 17) erkennen, aber die Größenordnung der A_z -Summen beträgt nur ca. die Hälfte. In der winterlichen Periode dominiert hier der Monat Februar mit einem A_z -Wert von $5,22 \cdot 10^{20}$ Joule.

Abb.16. Jahresgang der Menge von A_z in Einheiten von 10^{20} Joule gültig für den gesamten Westwindbereich der Atmosphäre der Nordhalbkugel

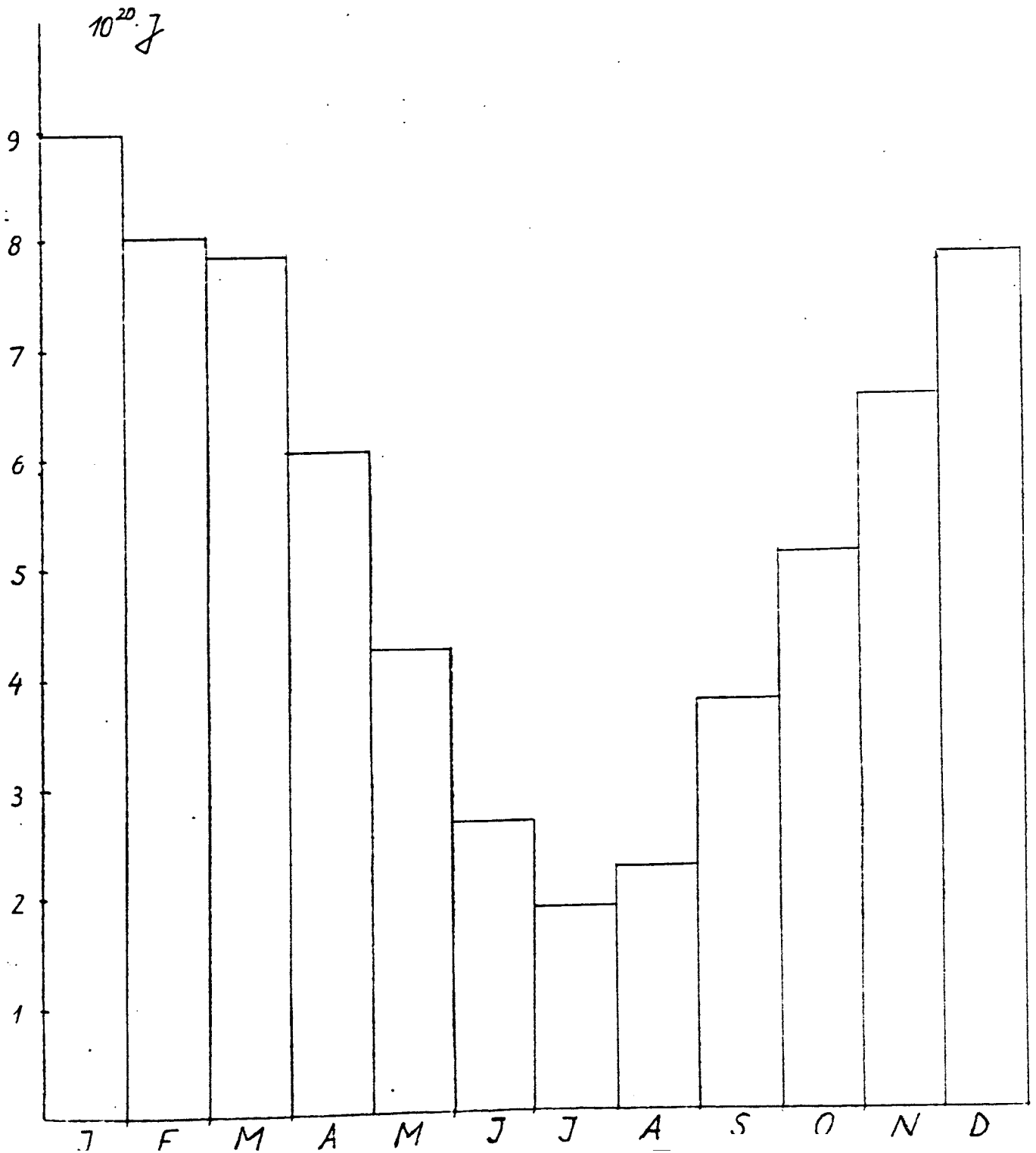
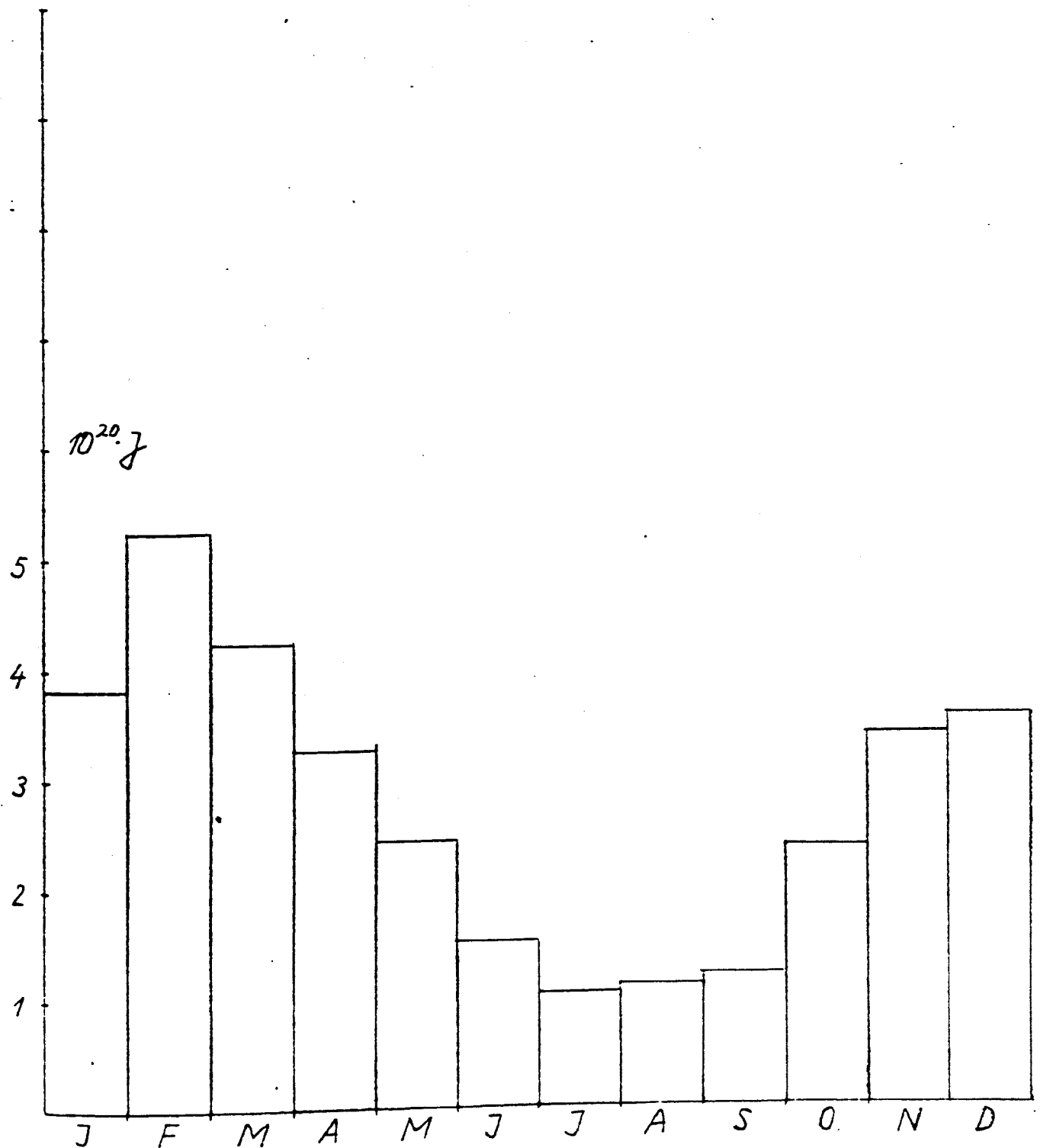


Abb.17. Jahresgang der Menge von A_z in Einheiten von 10^{20} Joule gültig für den gesamten Ostwindbereich der Atmosphäre der Nordhalbkugel



(Tabelle 6)

Integralwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z $[10^{20} \text{ Joule}]$
in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

Schicht- dicke (mb)	(1) Summe in der gesamten Atmosphäre	(2) Gesamtsumme Westwind- bereich	(3) Gesamtsumme Ostwind- bereich *	(4) Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	(5) Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	(6) Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	(7) Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	3,0617	1,4974	1,1413 0,425	1,4974	1,5643	0	0
800 - 600	3,0248	2,1549	0,86993	2,1549	0,86993	0	0
600 - 400	3,8956	3,0385	0,8571	3,0385	0,8571	0	0
400 - 300	1,7632	1,4581	0,30514	1,4279	0,30514	0,0302	0
300 - 200	0,5387	0,4543	0,08445	0,27725	0,08445	0,1771	0
200 - 140	0,05193	0,0411	0,0108	0,015095	0,0108	0,0260	0
140 - 100	0,20244	0,1511	0,0513	0,05682	0,0513	0,0943	0
100 - 70	0,17955	0,1199	0,0597	0,02389	0,04478	0,0960	0,0149
70 - 50	0,03956	0,0263	0,0133	0	0	0,0263	0,0133
50 - 30	0,01848	0,0166	0,00192	0	0	0,0166	0,00192
30 - 20	0,01236	0,0115	0,00082	0	0	0,0115	0,00082
20 - 10	0,02052	0,0170	0,00352	0	0	0,0170	0,00352
Σ	12,809	8,9867	3,8223	8,4918	3,7878	0,4950	0,0345

* bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

JANUAR

(Tabelle 6)

Integralwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [10^{20} Joule]
in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

Schicht- dicke (mb)	(1) Summe in der gesamten Atmosphäre	(2) Gesamtsumme Westwind- bereich	(3) Gesamtsumme Ostwind- bereich *	(4) Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	(5) Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	(6) Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	(7) Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	3,1609	0,6395	1,1606 1,3608	0,6395	2,5214	0	0
800 - 600	3,1694	2,1427	1,0267	2,1427	1,0267	0	0
600 - 400	4,0656	2,9587	1,1069	2,9587	1,1069	0	0
400 - 300	1,7587	1,4371	0,3216	1,3919	0,3216	0,0452	0
300 - 200	0,53005	0,4216	0,10841	0,21358	0,10841	0,2081	0
200 - 140	0,07569	0,0580	0,01766	0,027951	0,01766	0,030	0
140 - 100	0,23679	0,1787	0,05811	0,07198	0,05811	0,1067	0
100 - 70	0,18086	0,1251	0,05579	0,01173	0,01395	0,1133	0,0418
70 - 50	0,04432	0,0426	0,0017138	0	0	0,0426	0,0017138
50 - 30	0,01479	0,0120	0,0027729	0	0	0,0120	0,0027729
30 - 20	0,006699	0,0063	0,0003645	0	0	0,0063	0,0003645
20 - 10	0,010335	0,0084	0,0019236	0	0	0,0084	0,0019236
Σ	13,254	8,0307	5,2233	7,4580	5,1747	0,5726	0,0436

* bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

FEBRUAR

(Tabelle 6)

Integralwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [10^{20} Joule]
in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

Schicht- dicke (mb)	(1) Summe in der gesamten Atmosphäre	(2) Gesamtsumme Westwind- bereich	(3) Gesamtsumme Ostwind- bereich *	(4) Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	(5) Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	(6) Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	(7) Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	3,1742	1,4090	1,1027 0,6625	1,4090	1,7652	0	0
800 - 600	2,9176	2,0221	0,8955	2,0221	0,8955	0	0
600 - 400	3,4856	2,5321	0,9535	2,5321	0,9535	0	0
400 - 300	1,4697	1,1283	0,3414	1,1088	0,3414	0,0195	0
300 - 200	0,45116	0,3567	0,09448	0,18938	0,09448	0,1673	0
200 - 140	0,07185	0,0553	0,01654	0,021245	0,01654	0,0341	0
140 - 100	0,24129	0,1837	0,05760	0,07155	0,05760	0,1122	0
100 - 70	0,18057	0,1206	0,05998	0	0	0,1206	0,05998
70 - 50	0,042913	0,0250	0,017952	0	0	0,0250	0,017952
50 - 30	0,00971	0,0049	0,004008	0	0	0,0049	0,004008
30 - 20	0,00115	0,0010	0,00014865	0	0	0,0010	0,00014865
20 - 10	0,00424	0,0029	0,0013771	0	0	0,0029	0,0013771
Σ	12,050	7,8416	4,2077	7,3542	4,1242	0,4875	0,0335

* bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

MÄRZ

(Tabelle 6)

Integralwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z $[10^{20} \text{ Joule}]$
in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

Schicht- dicke (mb)	(1) Summe in der gesamten Atmosphäre	(2) Gesamtsumme Westwind- bereich	(3) Gesamtsumme Ostwind- bereich *	(4) Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	(5) Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	(6) Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	(7) Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	2,3888	0,9474	0,7795 0,6619	0,9474	1,4414	0	0
800 - 600	2,1358	1,5263	0,6095	1,5263	0,6095	0	0
600 - 400	2,5892	1,9484	0,6408	1,9484	0,6408	0	0
400 - 300	1,2135	0,928	0,2855	0,928	0,2855	0	0
300 - 200	0,41712	0,3245	0,09263	0,17723	0,09263	0,1473	0
200 - 140	0,096383	0,0732	0,02319	0,017254	0,02319	0,0559	0
140 - 100	0,23520	0,1692	0,06600	0,04164	0,06600	0,1276	0
100 - 70	0,16291	0,1083	0,05463	0,00482	0,01366	0,1035	0,0410
70 - 50	0,044596	0,0263	0,018291	0	0	0,0263	0,018291
50 - 30	0,012726	0,0043	0,006182 0,002263	0	0	0,0043	0,0084
30 - 20	0,000854	0,0003	0,00014162 0,0004058	0	0	0,0003	0,0005
20 - 10	0,001862	0,0007	0,0006771 0,0005030	0	0	0,0007	0,0012
Σ	9,2989	6,0569	3,2421	5,5910	3,1727	0,4659	0,0694

* bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

(Tabelle 6)
Integralwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [10^{20} Joule]
in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich *	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	1,6623	0,6331	0,4819 0,5473	0,6331	1,0292	0	0
800 - 600	1,4483	1,0645	0,3838	1,0645	0,3838	0	0
600 - 400	1,7078	1,3012	0,4066	1,3012	0,4066	0	0
400 - 300	0,86632	0,6510	0,21534	0,6510	0,21534	0	0
300 - 200	0,33386	0,2404	0,09342	0,12955	0,09342	0,1109	0
200 - 140	0,15191	0,1204	0,03148	0,024503	0,03148	0,0959	0
140 - 100	0,25941	0,1818	0,07765	0,04062	0,07765	0,1412	0
100 - 70	0,17161	0,0724	0,06565 0,03358	0,00048	0	0,0719	0,0992
70 - 50	0,061626	0,0082	0,024630 0,028750	0	0	0,0032	0,0534
50 - 30	0,026463	0	0,026463	0	0	0	0,026463
30 - 20	0,0041005	0	0,0041005	0	0	0	0,0041005
20 - 10	0,0016606	0	0,0016606	0	0	0	0,0016606
Σ	6,6953	4,2730	2,4223	3,8450	2,2375	0,4281	0,1848

* bei zwei Werten in einer Schicht fällt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

(Tabelle 6)
Integralwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [10^{20} Joule]
in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

	(1) Summe in der gesamten Atmosphäre	(2) Gesamtsumme Westwind- bereich	(3) Gesamtsumme Ostwind- bereich *	(4) Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	(5) Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	(6) Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	(7) Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	0,94777	0,4063	0,25535 0,2861	0,4063	0,5415	0	0
800 - 600	0,74622	0,5683	0,17791	0,5683	0,17791	0	0
600 - 400	0,91767	0,7236	0,19405	0,7236	0,19405	0	0
400 - 300	0,56934	0,4509	0,11845	0,4509	0,11845	0	0
300 - 200	0,25937	0,21668	0,04269	0,1254146	0,04269	0,091265	0
200 - 140	0,16996	0,1181	0,04504 0,00687	0,017772	0,0519	0,1003	0
140 - 100	0,27056	0,1155	0,08732 0,06775	0,02251	0,1551	0,0930	0
100 - 70	0,16520	0,0400	0,05985 0,06535	0	0	0,040	0,1252
70 - 50	0,066098	0,0046	0,061516	0	0	0,0046	0,061516
50 - 30	0,033589	0	0,033589	0	0	0	0,033589
30 - 20	0,0070988	0	0,0070988	0	0	0	0,0070988
20 - 10	0,0046153	0	0,0046153	0	0	0	0,0046153
Σ	4,1575	2,6440	1,5136	2,3148	1,2816	0,3292	0,2320

* bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Folbereich

JUNI

(Tabelle 6)
Integralwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [10^{20} Joule]
in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

Schicht- dicke (mb)	(4) Summe in der gesamten Atmosphäre	(2) Gesamtsumme Westwind- bereich	(3) Gesamtsumme Ostwind- bereich *	(4) Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	(5) Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	(6) Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	(7) Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	0,67612	0,2976	0,16479 0,21376	0,2975	0,3786	0	0
800 - 600	0,44309	0,3442	0,09894	0,3442	0,09894	0	0
600 - 400	0,51955	0,4082	0,11139	0,4082	0,11139	0	0
400 - 300	0,40811	0,3166	0,09148	0,3166	0,09148	0	0
300 - 200	0,19822	0,15929	0,03893	0,09281	0,03893	0,0665	0
200 - 140	0,14846	0,1016	0,04691	0,006844	0,04691	0,0948	0
140 - 100	0,23242	0,1257	0,08424 0,02251	0,006896	0,1068	0,1188	0
100 - 70	0,13718	0,08282	0,050246 0,0041153	0,00033509	0,0100492	0,0825	0,0443
70 - 50	0,061036	0,005294	0,0557	0	0	0,005294	0,0557
50 - 30	0,032767	0	0,032767	0	0	0	0,032767
30 - 20	0,0083268	0	0,0083268	0	0	0	0,0083268
20 - 10	0,0062564	0	0,0062564	0	0	0	0,0062564
Σ	2,8715	1,8413	1,0304	1,4734	0,8831	0,3679	0,1474

* bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Folbereich

JULI

(Tabelle 6)
Integralwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [10^{20} Joule]
in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich *	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	0,76592	0,3138	0,1949 0,2573	0,3137	0,4522	0	0
800 - 600	0,54726	0,4354	0,11184	0,4354	0,11184	0	0
600 - 400	0,71324	0,5713	0,14191	0,5713	0,14191	0	0
400 - 300	0,48822	0,3927	0,09553	0,3927	0,09553	0	0
300 - 200	0,24503	0,196574	0,048456	0,178796	0,048456	0,017778	0
200 - 140	0,14941	0,1002	0,04921	0,006656	0,04921	0,0935	0
140 - 100	0,21808	0,1415	0,07658	0,008244	0,0728	0,1333	0,0038
100 - 70	0,12296	0,05599	0,045044 0,02192	0	0	0,05599	0,0696
70 - 50	0,048245	0,0132	0,018394 0,0166856	0	0	0,0132	0,0351
50 - 30	0,023966	0,001766	0,0222	0	0	0,001805	0,0222
30 - 20	0,0048940	0	0,0048940	0	0	0	0,004894
20 - 10	0,0029620	0	0,0029620	0	0	0	0,002962
Σ	3,3302	2,2224	1,1078	1,9068	0,9719	0,31557	0,1335

* bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

AUGUST

(Tabelle 6)
Integralwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [10^{20} Joule]
in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich *	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	0,76592	0,3138	0,1949 0,2573	0,3137	0,4522	0	0
800 - 600	0,54726	0,4354	0,11184	0,4354	0,11184	0	0
600 - 400	0,71324	0,5713	0,14191	0,5713	0,14191	0	0
400 - 300	0,48822	0,3927	0,09553	0,3927	0,09553	0	0
300 - 200	0,24503	0,196574	0,048456	0,178796	0,048456	0,017778	0
200 - 140	0,14941	0,1002	0,04921	0,006656	0,04921	0,0935	0
140 - 100	0,21808	0,1415	0,07658	0,008244	0,0728	0,1333	0,0038
100 - 70	0,12296	0,05599	0,045044 0,02192	0	0	0,05599	0,0695
70 - 50	0,048245	0,0132	0,018394 0,0166856	0	0	0,0132	0,0351
50 - 30	0,023966	0,001766	0,0222	0	0	0,001805	0,0222
30 - 20	0,0048940	0	0,0048940	0	0	0	0,004894
20 - 10	0,0029620	0	0,0029620	0	0	0	0,002962
Σ	3,3302	2,2224	1,1078	1,9068	0,9719	0,31557	0,1335

* bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

AUGUST

(Tabelle 6)
Integralwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [10^{20} Joule]
in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

	(1) Summe in der gesamten Atmosphäre	(2) Gesamtsumme Westwind- bereich	(3) Gesamtsumme Ostwind- bereich *	(4) Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	(5) Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	(6) Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	(7) Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	1,1694	0,7681	0,11805 0,2333	0,7681	0,4036	0	0
800 - 600	0,96831	0,7905	0,17779	0,7905	0,17779	0	0
600 - 400	1,2756	1,0072	0,26840	1,0072	0,26840	0	0
400 - 300	0,78562	0,6291	0,15655	0,6291	0,15655	0	0
300 - 200	0,30951	0,2482	0,06134	0,116152	0,06134	0,1320	0
200 - 140	0,10222	0,0734	0,02884	0,009339	0,02884	0,0641	0
140 - 100	0,19266	0,12576	0,066898	0,011121	0,066898	0,1146	0
100 - 70	0,11008	0,0835	0,026577	0,000301252	0,00033714	0,0832	0,0262
70 - 50	0,033075	0,0195	0,013616	0	0	0,0195	0,013616
50 - 30	0,010777	0,0057	0,005079	0	0	0,0057	0,005079
30 - 20	0,0010634	0,0004	0,0006169	0	0	0,0004	0,0006169
20 - 10	0,00085038	0,0007	0,00019274	0	0	0,0007	0,00019274
Σ	4,9591	3,7521	1,2072	3,3317	1,1638	0,4216	0,0456

* bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

Seftel, BERK

(Tabelle 6)
Integralwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [10^{20} Joule]
in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

Schicht- dicke (mb)	(1) Summe in der gesamten Atmosphäre	(2) Gesamtsumme Westwind- bereich	(3) Gesamtsumme Ostwind- bereich *	(4) Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	(5) Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	(6) Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	(7) Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	1,9758	0,9850	0,6063 0,3845	0,9850	0,9908	0	0
800 - 600	1,6684	1,2486	0,4198	1,2486	0,4198	0	0
600 - 400	2,0112	1,5366	0,4746	1,5366	0,4746	0	0
400 - 300	1,0472	0,7965	0,2507	0,7965	0,2507	0	0
300 - 200	0,38119	0,2899	0,091255	0,11894	0,091255	0,1710	0
200 - 140	0,058801	0,0448	0,0140	0,009767	0,0140	0,0350	0
140 - 100	0,16370	0,1094	0,0543	0,019728	0,0543	0,0897	0
100 - 70	0,10511	0,0637	0,041394	0,00100591	0,0041382	0,0627	0,0373
70 - 50	0,023284	0,0126	0,010676	0	0	0,0126	0,010676
50 - 30	0,0059161	0,0031	0,0027849	0	0	0,0031	0,0027849
30 - 20	0,0028825	0,0024	0,00053112	0	0	0,0024	0,00053112
20 - 10	0,0084591	0,0064	0,0020272	0	0	0,0064	0,0020272
Σ	7,4519	5,0990	2,3529	4,7161	2,2996	0,3829	0,0533

* bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

OKTOBER

(Tabelle 6)
 Integrallwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [10^{20} Joule]
 in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich *	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	2,5663	1,1195	0,8739 0,5729	1,1195	1,4468	0	0
800 - 600	2,2782	1,6189	0,6593	1,6189	0,6593	0	0
600 - 400	2,9061	2,1783	0,7278	2,1783	0,7278	0	0
400 - 300	1,3838	1,0616	0,3222	1,0616	0,3222	0	0
300 - 200	0,45146	0,3359	0,11552	0,130553	0,11552	0,2054	0
200 - 100	0,048350	0,0347	0,013638	0,009182	0,013638	0,0255	0
100 - 100	0,13955	0,0943	0,04523	0,022099	0,04523	0,0722	0
100 - 70	0,10922	0,0685	0,040736	0,0022188	0,008147	0,0663	0,0326
70 - 50	0,022881	0,0124	0,010450	0	0	0,0124	0,01045
50 - 30	0,0050335	0,0034	0,0016335	0	0	0,0034	0,0016335
30 - 20	0,0071819	0,0055	0,0016641	0	0	0,0055	0,0016641
20 - 10	0,019160	0,0132	0,006008	0	0	0,0132	0,006008
Σ	9,9572	6,5462	3,3910	6,1424	3,3386	0,4039	0,0524

* bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
 den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

NOVEMBER

(Tabelle 6)

Integralwerte der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z [10^{20} Joule]
in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich

Schicht- dicke (mb)	(1) Summe in der gesamten Atmosphäre	(2) Gesamtsumme Westwind- bereich	(3) Gesamtsumme Ostwind- bereich *	(4) Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	(5) Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	(6) Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	(7) Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre
1000 - 800	2,8856	1,2477	1,0282 0,6097	1,2477	1,6379	0	0
800 - 600	2,7345	1,9604	0,6967 0,0774	1,9604	0,7741	0	0
600 - 400	3,3591	2,7049	0,6542	2,7049	0,6542	0	0
400 - 300	1,5105	1,2389	0,2716	1,2389	0,2716	0	0
300 - 200	0,47451	0,3780	0,096478	0,153099	0,096478	0,2249	0
200 - 140	0,041598	0,0319	0,009742	0,009838	0,009742	0,0221	0
140 - 100	0,16221	0,1184	0,04380	0,04149	0,04380	0,0769	0
100 - 70	0,13432	0,0866	0,047717	0	0	0,0866	0,047717
70 - 50	0,024890	0,0144	0,010441	0	0	0,0144	0,010441
50 - 30	0,010402	0,0090	0,001358	0	0	0,0090	0,001358
30 - 20	0,013424	0,0111	0,0022801	0	0	0,0111	0,0022801
20 - 10	0,027537	0,0215	0,006063	0	0	0,0215	0,006063
Σ	11,378	7,8228	3,5554	7,3563	3,4878	0,4665	0,0679

* bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Folbereich

DEZEMBER

Siehe für diesen Abschnitt die Zahlenangaben in Tabelle 6 in der horizontalen $\bar{}$ -Zeile des betreffenden Monats und Spalte (2) oder (3)

Eine nochmals verfeinerte Zerlegung der A_z -Summenwerte präsentiert im folgenden solche Summen für die Troposphäre bzw. die untere Stratosphäre und in jedem dieser beiden Stockwerke getrennt für das West- bzw. das Ostwindregime. Daher stehen vier Bilder nachfolgend zur Diskussion. Zwei solcher Darstellungen zeigen die monatliche A_z -Variation innerhalb der Troposphäre im Westwindbereich (siehe Abb. 18) und im Ostwindbereich (siehe Abb. 19). Es fällt sofort die nahezu identische Übereinstimmung quantitativer als auch qualitativer Art zu dem in den Abbildungen 16 und 17 aufgezeigten Jahresgang, gültig für die gesamte Atmosphäre und getrennt in Westwind- und Ostwindbereich, auf. Dies ist auf die stark unterschiedliche Massenverteilung in der Atmosphäre zurückzuführen, wobei die Troposphäre mit einem Massenanteil von ca. 90 % der atmosphärischen Gesamtmasse absolut dominiert. Auf die troposphärischen A_z -Maxima des Westwindbereiches im Winter folgt eine kontinuierliche A_z -Werte-Reduktion bis zu den relativ minimalen A_z -Werten des Monats Juli, worauf sich dann ein ebenso rascher als auch kontinuierlicher A_z -Werteanstieg während des Herbstes wieder bis zum winterlichen A_z -Maximum einstellt. Für die A_z -Variation innerhalb des troposphärischen Ostwindbereiches ist strukturell eine (bis auf eine leichte Verschiebung des A_z -Maximums zum Monat Februar hin) völlig analoge A_z -Variation erkennbar. Die A_z -Quantitäten sind entsprechend des geringeren Anteils des Ostwindes an der troposphärischen Zirkulation auf fast die Hälfte der troposphärischen Quantitäten innerhalb des Westwindbereiches reduziert. Diese Variationen im Jahresablauf sind anhand der Abb. 1 bis 12 leicht zu verstehen. In der Troposphäre war dort nördlich der Nulllinie A_z relativ groß. Dies ist auch der Bereich der troposphärischen Westwinde und A_z ist dort im Winter groß, im Sommer kleiner. Auch in der Äquatornähe südlich der Nulllinie ist A_z wieder größer, dort wo Ostwinde in der Troposphäre vorherrschen. Diese sind wieder im Winter groß und im Sommer kleiner, aber generell kleiner als in

Abb.18. Jahresgang der Menge von A_2 in Einheiten von 10^{20} Joule gültig für den troposphärischen Westwindbereich der Atmosphäre der Nordhalbkugel.

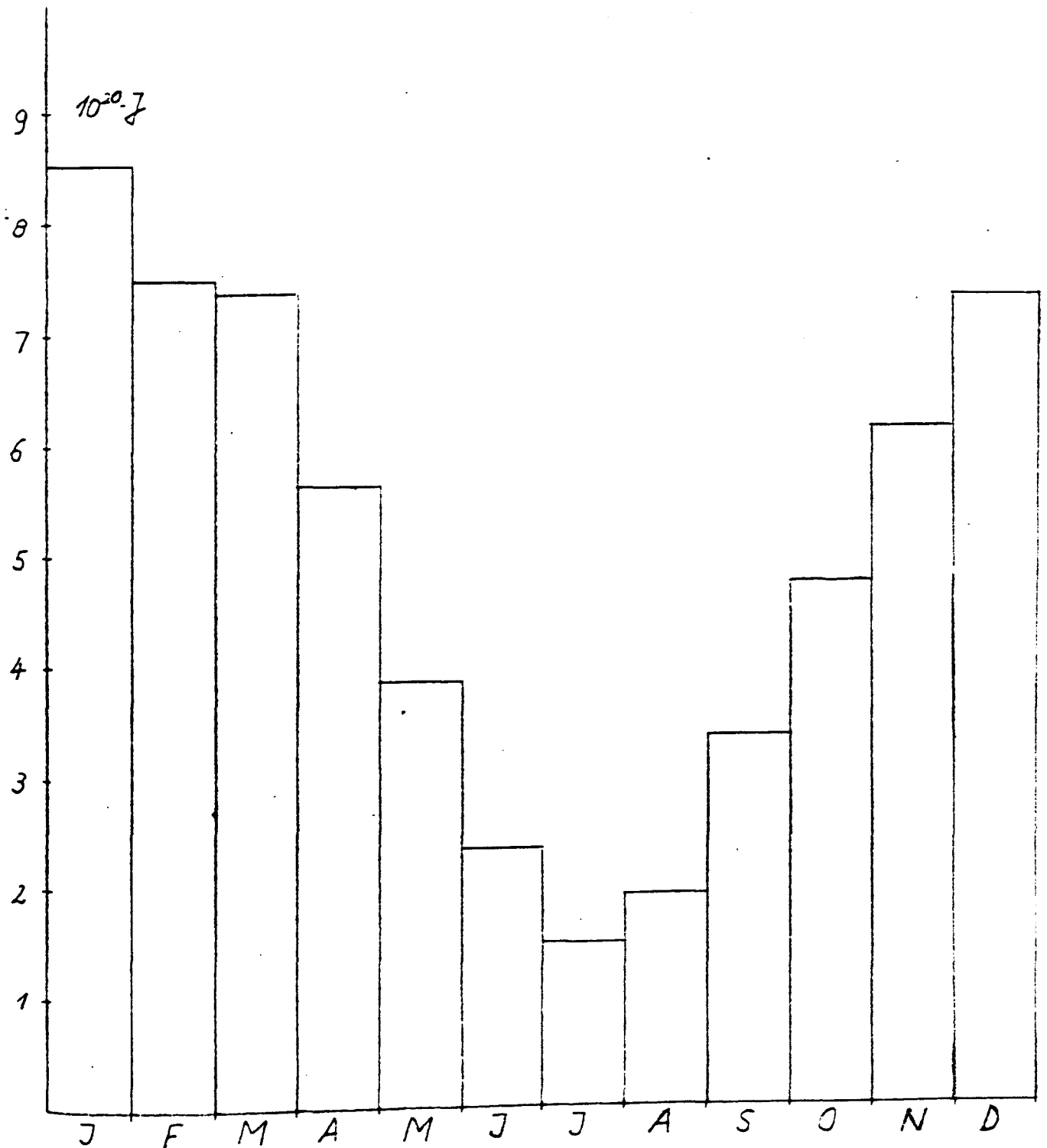


Abb.19. Jahresgang der Menge von A_z in Einheiten von 10^{20} Joule gültig für den troposphärischen Ostwindbereich der Atmosphäre der Nordhalbkugel.

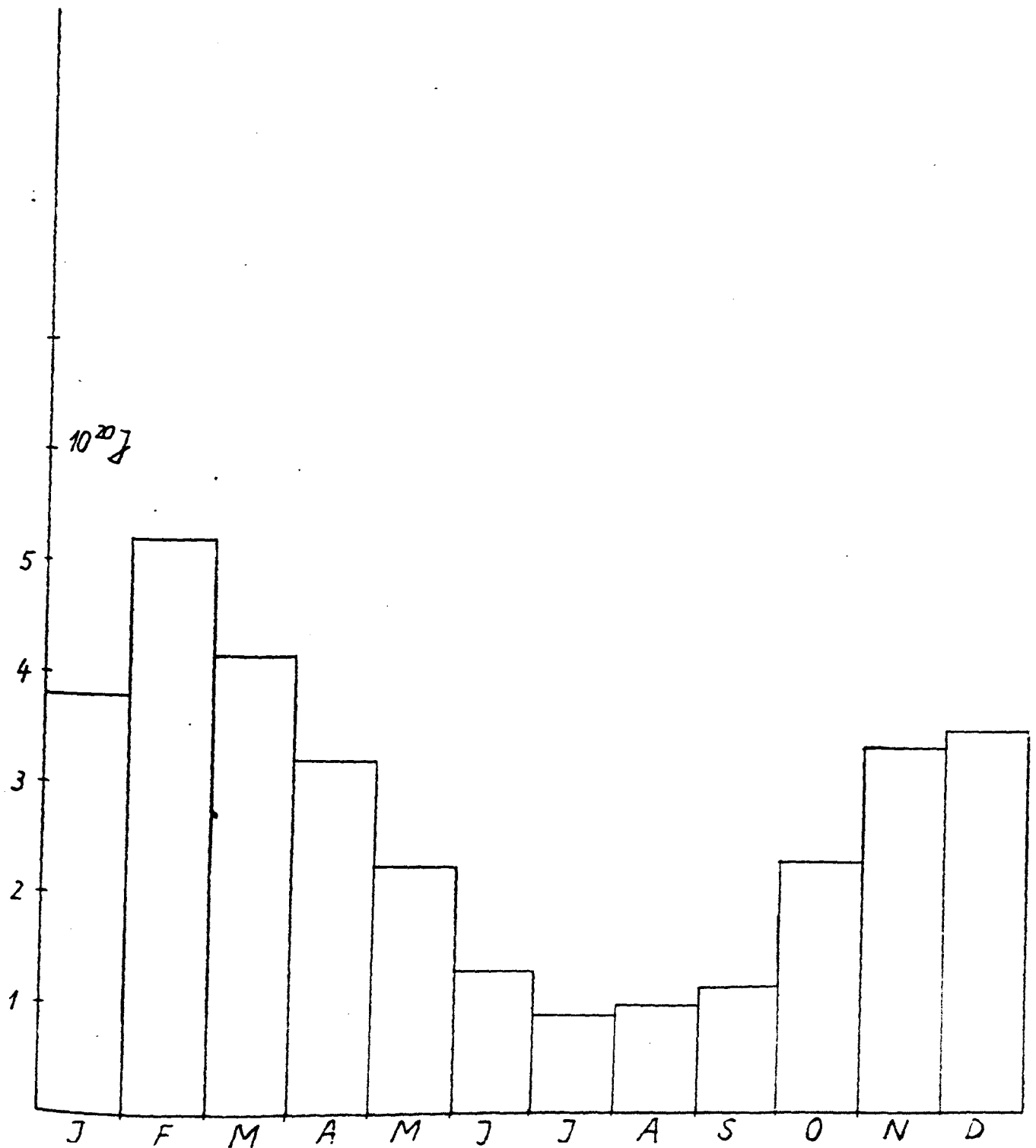


Abb.20. Jahresgang der Menge von A_z in Einheiten von 10^{20} Joule gültig für den Westwindbereich der unteren Stratosphäre der Atmosphäre der Nordhalbkugel.

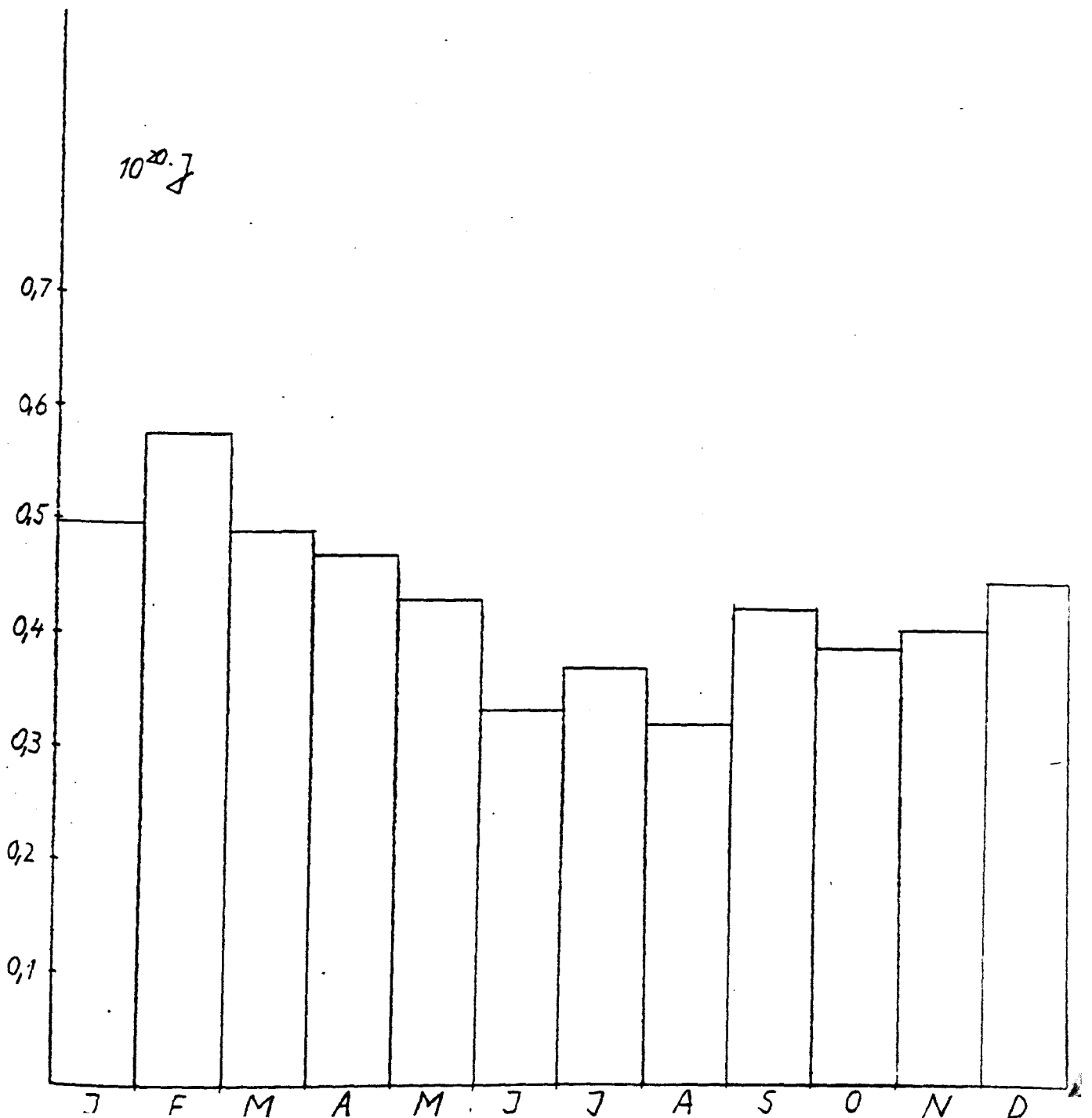
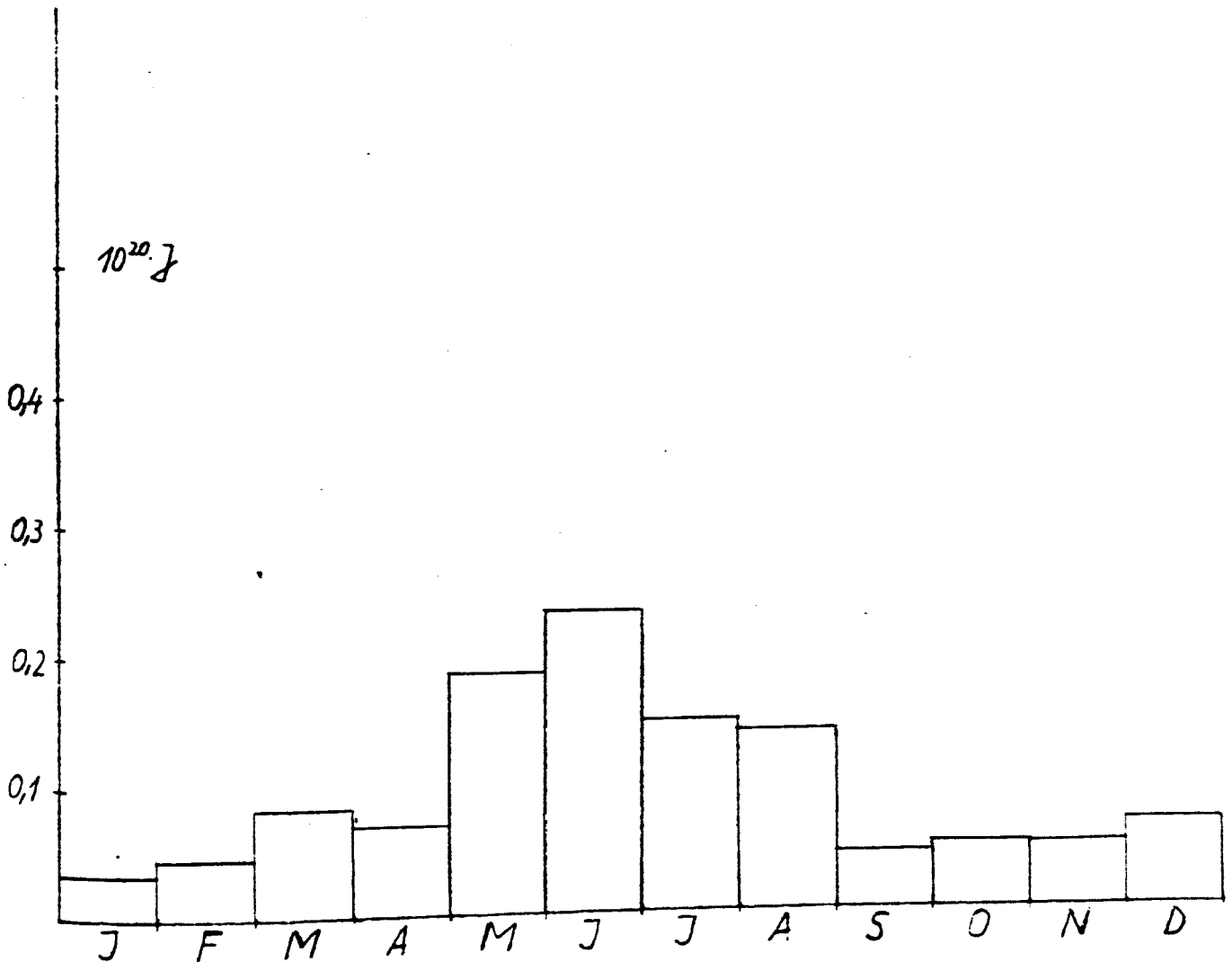


Abb.21. Jahresgang der Menge von A_z in Einheiten von 10^{20} Joule gültig für den Ostwindbereich der unteren Stratosphäre der Atmosphäre der Nordhalbkugel.



Polnähe.

Für diesen Abschnitt siehe die Zahlenangaben in Tabelle 6 in der horizontalen \int -Zeile des betreffenden Monats und den Spalten (4) oder (5).

In den weiteren zwei Abbildungen 20 und 21 wird der Jahresgang der stratosphärischen A_z -Variation im Westwindbereich und im Ostwindbereich dargestellt. Die relativ geringe A_z -Variation des stratosphärischen Westwindregimes weist ein A_z -Maximum für den Winter (Februar) mit nahezu $0,6 \cdot 10^{20}$ Joule auf. Wie man wieder den Bildern 1 bis 12 entnehmen kann, erfaßt diese Art der Integration im Winter das A_z -Maximum über ca. 50°N und bei 100 mb sowie jenes in Polnähe zwischen 50 und 10 mb. Im Sommer hingegen wird das Westwindregime bei etwa 70 mb aufwärts begrenzt, so daß nur über das relativ kräftige A_z -Maximum in Polnähe bei 100 mb summiert wird. Die stratosphärische A_z -Variation im Ostwindbereich ist gegenläufig (Minimum im Winter und Maximum im Sommer). Die Werte bleiben jedoch recht klein. Im Winter wird nur das mäßige A_z -Maximum in Äquatornähe und nahe 100 mb erfaßt. Hingegen addieren sich im Sommer alle A_z -Werte oberhalb von etwa 70 mb, wenn sie auch generell klein sind.

Für diesen Abschnitt siehe die Zahlenangaben in Tabelle 6 in der horizontalen \int -Zeile des betreffenden Monats und den Spalten (6) oder (7).

Die Abb. 22 präsentiert in 12 Einzelbildern, geordnet nach Jahreszeiten in jeder Reihe, eine absolut integrierte A_z -Verteilung, gültig für die gesamte Atmosphäre (1000 mb bis 10 mb) als Funktion der Breiten und separat für jeden Monat. Jeweils zwei Kurven in jedem Bild geben Auskunft über die A_z -Variation als Funktion der Breite, einerseits als Integralwerte für 5° weite Breitenzonen (siehe gestrichelte Kurve, 10^6 Joule/m²), andererseits als Summenwerte (siehe ausgezogene Kurve) nach einer Multiplikation mit der jeweiligen Fläche der Breitenzone (siehe Tabelle 3). Für die Ermittlung der die Flächen berücksichtigenden A_z -Werte wurden die jeweils per horizontaler Integration

nach Formel (3.17a) errechneten A_z -Werte der betreffenden fünf Breitengrade weiten Zone vertikal (mit Hilfe der Formel (3.17b) integriert, so daß sich z.B. für das erste fünf Breitengrade große Intervall veranschaulicht eine vertikale Säule (von 1000 mb bis 10 mb) ergibt, die die Nordhemisphäre nach anschließender Flächenmultiplikation ringförmig umspannt. Die so ermittelten und anschließend aufaddierten A_z -Werte ergeben die A_z -Variation in absoluten Einheiten (10^{20} Joule). Die Flächenberücksichtigung dieser A_z -Werte bezüglich des vom Äquator bis zum Pol stark variierenden Flächeninhaltes der jeweils fünf Breitengrade messenden Intervalle zeigt die durchgezogene Linie, die die A_z -Variation im Sinne der eben diskutierten Flächenberücksichtigung in absoluten Einheiten (10^{20} Joule) präsentiert. Die absoluten sowie die relativen winterlichen A_z -Mengen überwiegen um ungefähr einen Faktor 10 die sommerlichen A_z -Mengen (mit dem zentralen Monat Juli als Repräsentant für den Sommer). Bei Betrachten der A_z -Variation des Monats Januar (als repräsentativ für den Winter) fällt die starke Erhöhung der A_z -Werte (durchgezogene Linie) bedingt durch die o.a. Flächenberücksichtigung auf. Bei der flächenberücksichtigenden A_z -Variation (durchgezogene Linie) ist generell eine in den Tropen stark erhöhte A_z -Quantität, ein in ca. 35°N für den winterlichen Zeitraum sowie ein in ca. 45°N für die sommerliche Periode absolutes energetisches A_z -Minimum als auch ein absolutes A_z -Maximum in der Polregion für den Winter (Januar) und für den Sommer (Juli), feststellbar.

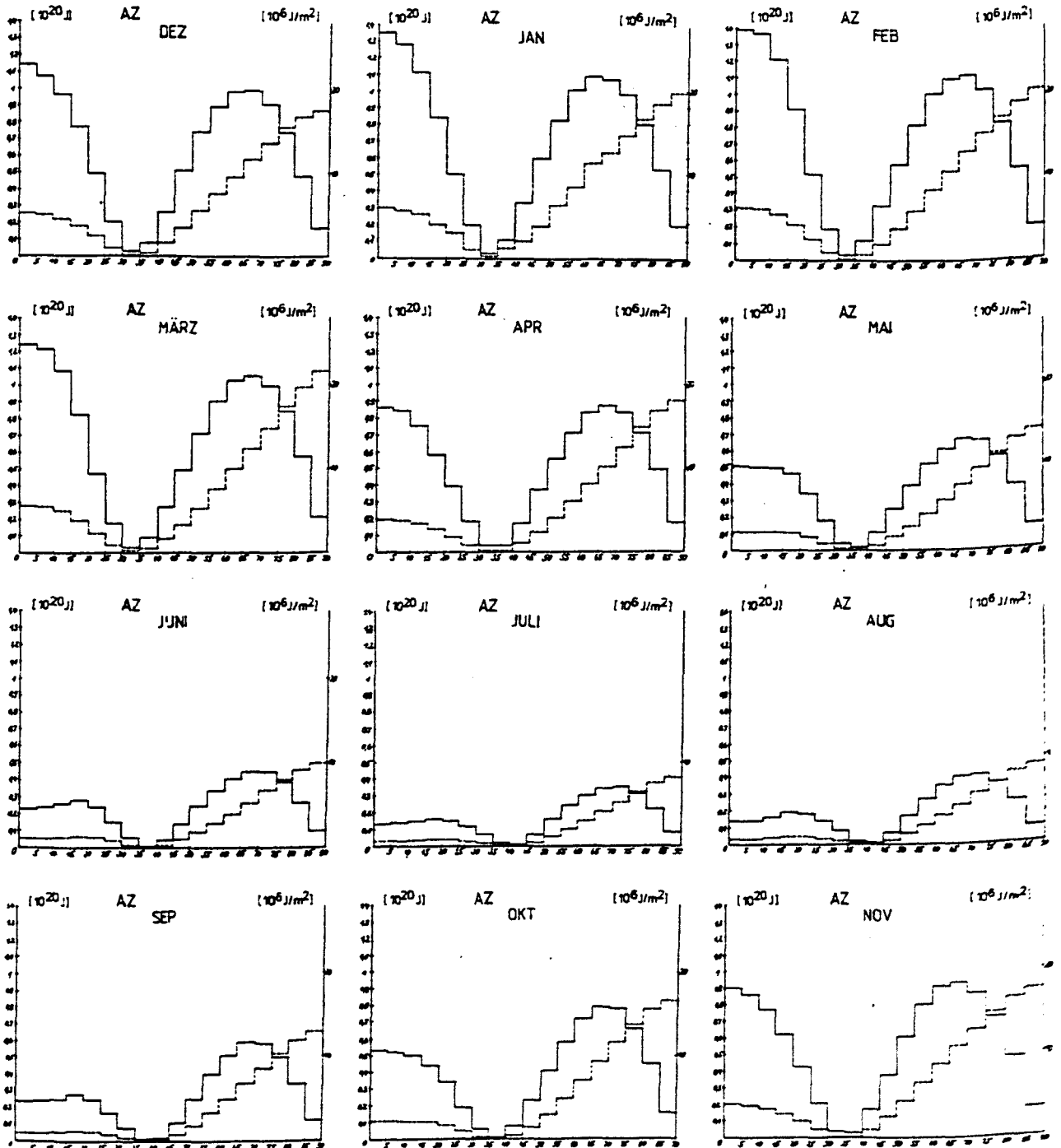
In der Polregion erweist sich die Auswirkung der Flächenmultiplikation auf die relativen A_z -Werte als reduzierend (da die Fläche der 5° breiten, ringförmigen polaren Säule nur ca. $1/20$ der Fläche der ebenfalls 5° breiten Äquatorsäule beträgt; siehe die Tab. 3).

Besonders auffällig ist an diesen Bildern, daß der Gegensatz in A_z (Maxima) in meridionaler Richtung, welcher bei Nichtberücksichtigung der Fläche der Breitenzone zwischen Äquator und Pol selbst am größten ist (siehe die gestrichelt

Abb.22. Variation der Menge von A_z mit der geographischen Breite (5 Breitengradzonen) separat für alle 12 Monate des Jahres und für die gesamte Atmosphäre der Nordhalbkugel.

Ausgezogene Kurve: in Einheiten 10^{20} Joule

Gestrichelte Kurve: in Einheiten 10^6 Joule pro m^2



gezeichneten Kurven) nach einer Flächenmultiplikation zwischen Äquator und ca. 60 oder 70°N zusammenrückt und am Äquator etwa gleichranging groß wird. Dann handelt es sich um miteinander vergleichbare Summenwerte der Energieform A_z , ausgedrückt in 10^{20} Joule für verschiedene Breitenzonen.

4.3. DER JAHRESGANG VON A_z FÜR DIE EINZELNEN MONATE DES JAHRES UND SEPARAT FÜR METEOROLOGISCH SINNVOLL GEWÄHLTE STOCKWERKE DER ATMOSPHÄRE

Die Abbildungen 23 bis 27 präsentieren den A_z -Jahresgang in den einzelnen meteorologisch wichtigen und auf Seite 14 schon spezifizierten Schichten der Atmosphäre in Abhängigkeit von der geographischen Breite φ in der Einheit Joule pro m^2 .

Planetarische Grenzschicht (1000 bis 800 mb)

Für die Planetarische Grenzschicht (Abb. 23) treten die winterlichen A_z -Maxima analog zu den Abb. 1 bis 12 (langzeitliche mittlere Meridionalprofile der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z) im Äquator- und im Polbereich in Erscheinung (im Polbereich recht dominierend mit einem winterlichen A_z -Maximum von nahezu $11 \cdot 10^6$ Joule pro m^2). Das absolute energetische A_z -Minimum (Nulllinie) ist auch in der Planetarischen Grenzschicht in 35°N (für den Winter) und in ca. 45°N (für den Sommer) zu lokalisieren. Das energetisch ausgeprägte polare winterliche A_z -Maximum wird verursacht durch die im Winter für den polaren Bereich nicht wirksame Sonneneinstrahlung. Dort bildet sich nahe dem Erdboden innerhalb dieser Schicht eine starke polare Temperaturinversion aus. Diese markante polare Temperaturinversion verursacht eine sehr große Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e (Formel (3.15)) und somit (nach der Formel (3.6)) das extreme polare winterliche A_z -Maximum. Eine Relativierung der winterlichen polaren A_z -Maxima im Sinne der bei der Diskussion der Abb. 22 schon erläuterten Flächenberücksichtigung würde entsprechend dem Flächeninhalt (nach Tabelle 3) der je fünf Breitengrade umfassenden,

die Nordhemisphäre umgebenden Ringflächen eine Vergrößerung der äquatorialen bzw. eine Reduktion der polaren A_z -Maxima bewirken. Die polaren winterlichen maximalen A_z -Werte werden monatlich stetig bis zum Monat Juli (als repräsentativ für den Sommer) auf nahezu ein Viertel des ursprünglichen winterlichen polaren A_z -Maximums (ca. $3 \cdot 10^6$ Joule pro m^2) reduziert; danach erfolgt im Herbst wieder eine monatliche A_z -Erhöhung bis zum soeben diskutierten polaren winterlichen A_z -Maximum. Das äquatoriale winterliche A_z -Maximum ist entsprechend seiner geringeren Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e (Formel (3.15)) quantitativ weniger stark ausgeprägt (ca. $3,2 \cdot 10^6$ Joule pro m^2 für den Monat Januar) und reduziert sich wegen der bis zum Monat Juli noch intensivierten Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e nun auf ca. $0,3 \cdot 10^6$ Joule pro m^2 . Im Herbst ist auch im Äquatorialbereich wieder eine kontinuierliche monatliche A_z -Erhöhung bis zum winterlichen A_z -Maximum feststellbar.

In dieser Bilderserie (Abb. 23) kann man separat für jede 5° weite Breitenzone durch eine jeweilige Multiplikation mit den Flächen der Zonen (siehe Tabelle 3) A_z -Summenwerte erhalten.

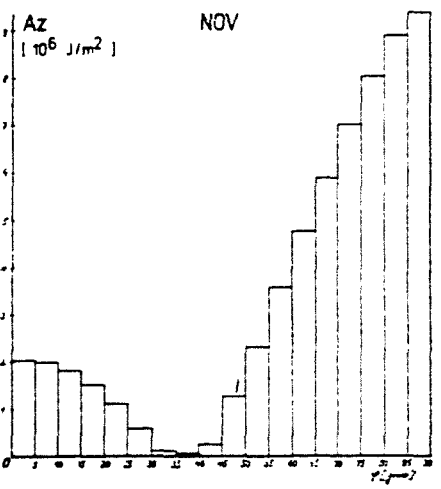
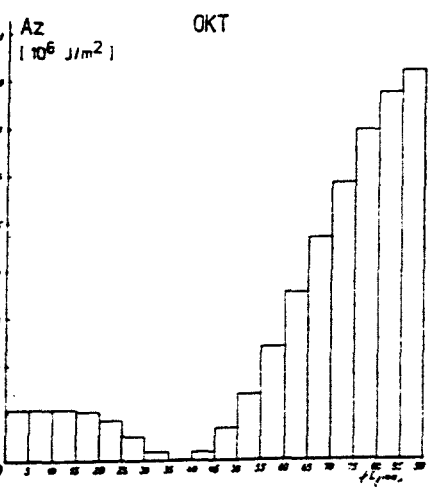
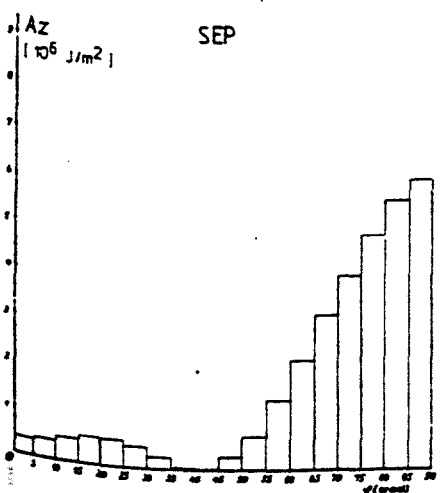
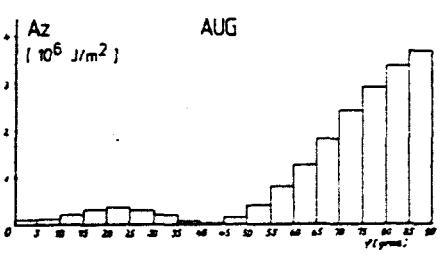
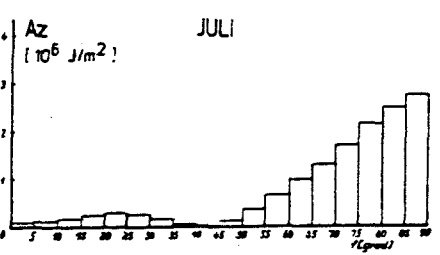
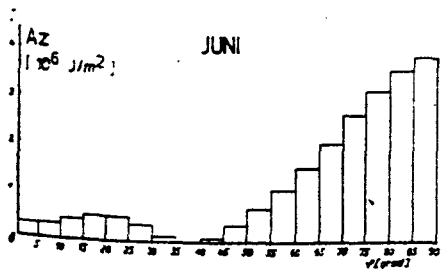
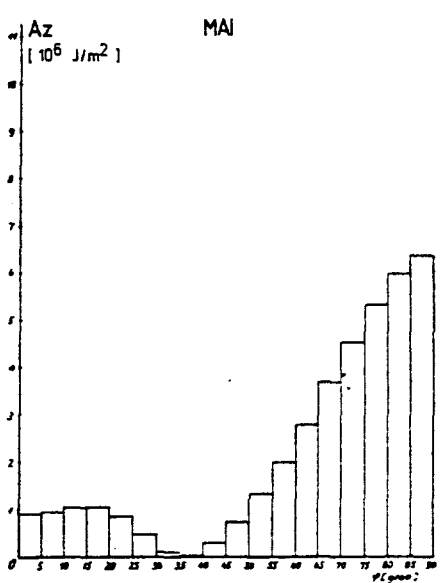
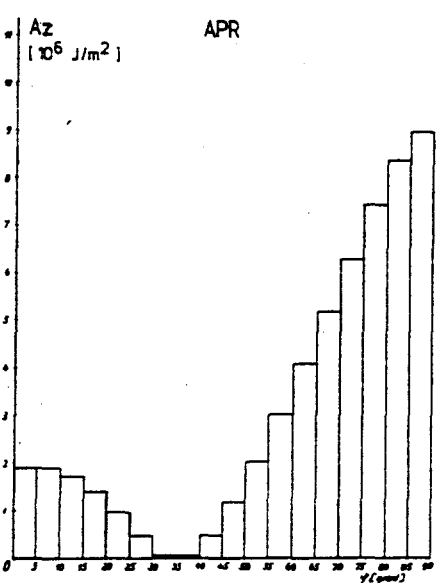
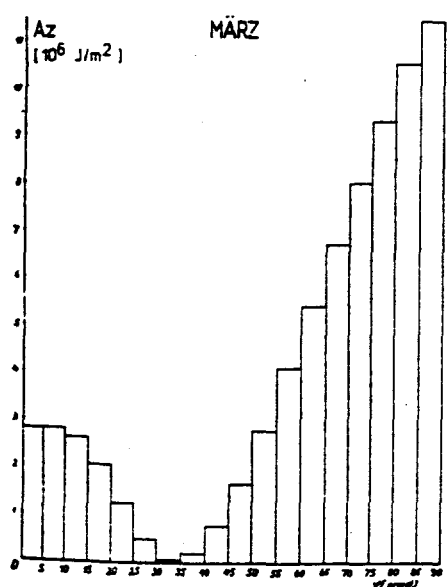
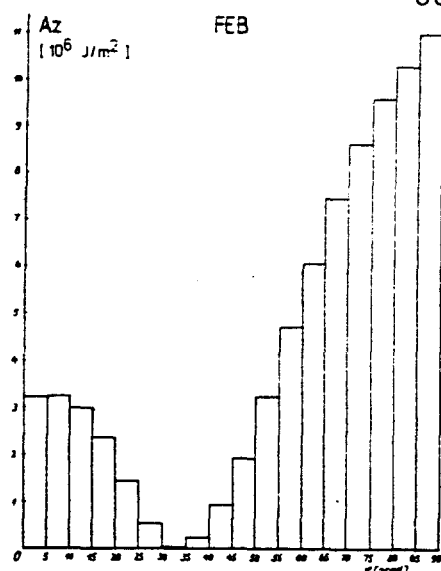
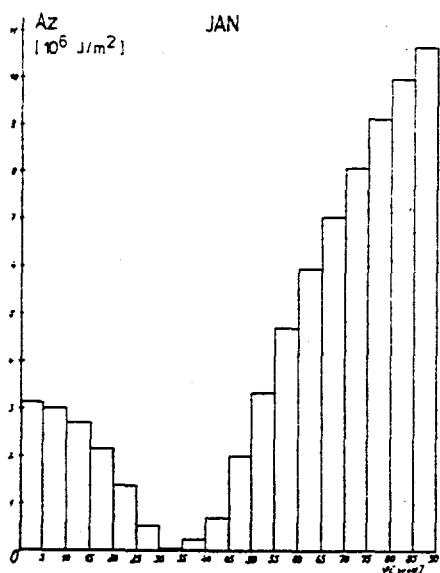
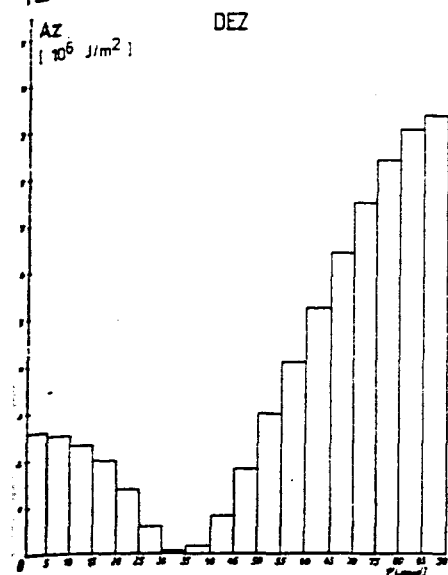
Dabei werden die Maxima mit Norden und Süden derart verändert, daß das polare nach ca. $60 - 70^\circ N$ rückt und das äquatoriale auf eine vergleichbare Summe gesteigert wird.

Von einer Gesamtsumme von A_z im Winter (Januar) von etwa $12,809 \cdot 10^{20}$ Joule) befinden sich etwa ein $1/4$ (24,2 %) innerhalb der Planetarischen Grenzschicht unterhalb von 800 mb ($3,161 \cdot 10^{20}$ Joule).

Im Sommer (Juli) ist die entsprechende Gesamtsumme $2,872 \cdot 10^{20}$ Joule und wiederum entfallen rund 23,4 % davon auf die Planetarische Grenzschicht.

von Az mit der geographischen Breite (5 Breitengradzonen) und für alle 12 Monate des Jahres in Einheiten von 10^6 Joule pro m^2 .

-88-



Die mittlere Troposphäre (800 bis 400 mb)

Die Abb. 24 präsentiert die A_z -Variationen in der mittleren Troposphäre mit dem in dieser meteorologischen Schicht nicht mehr so hohen (relativ zur Planetarischen Grenzschicht) Temperaturgradienten zwischen 35°N und dem Polbereich von jetzt ca. 23°C (Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e gemäß Formel (3.15)). Im polaren Bereich ist wieder ein absolutes winterliches A_z -Maximum mit nun ca. $6 \cdot 10^6$ Joule pro m^2 existent. Zum Sommer hin (Juli) ist wieder eine Reduktion des polaren winterlichen A_z -Maximums bis auf ca. $2,5 \cdot 10^6$ Joule pro m^2 festzustellen. Die Zone des absoluten energetischen A_z -Minimums (Null-Linie) liegt konform zu allen bisher diskutierten Bildern für die winterliche Periode in etwa 35°N und während der Sommerzeit in etwa 45°N . Das äquatoriale winterliche A_z -Maximum mit ca. $1,5 \cdot 10^6$ Joule pro m^2 schwächt sich bis zum Sommer (Juli) hin auf graphisch in den Bildern kaum noch erkennbare A_z -Werte ab; d.h. die Abweichung der Temperaturen vom Temperaturflächenmittel T_e ist im Sommer dort sehr gering. Die A_z -Werte des äquatorialen als auch des polaren Gebietes erfahren vom Sommer bis zum Winter wieder eine kontinuierliche Steigerung bis hin zu den o.a. äquatorialen bzw. polaren A_z -Maxima. Von der im Winter (Januar) vorhandenen Gesamtsumme von A_z entfallen jetzt etwa die Hälfte (54 %) auf die mittlere Troposphäre (800 - 400 mb), im Sommer (Juli) nur etwa ein Drittel (33.4 %).

Die obere Troposphäre (400 bis 140 mb; Jetniveau)

Die Abb. 25 präsentiert die A_z -Variation in der oberen Troposphäre; der anschaulichen Darstellung und somit Vergleichbarkeit wegen jetzt noch in der gleichen Einheit (Faktor 10^6 Joule pro m^2). Das polare wieder dominierende winterliche A_z -Maximum mit ca. $3 \cdot 10^6$ Joule pro m^2 wird hervorgerufen durch einen Temperaturgradienten zwischen 35°N und dem Pol von nur mehr ca. 10°C in etwa der mittleren Schichthöhe. Auffallend ist die mit wachsender Schichthöhe verbundene Reduktion des soeben erwähnten Temperaturgra-

dienten in Relation zu der auf Seite 89 diskutierten mittleren Troposphäre auf weniger als die Hälfte des Wertes bei fast identischen Werten des Stabilitätsfaktors γ (Formel (3.8)) für den Monat Januar von $9,6 \cdot 10^{-3} \text{grad}^{-1}$ und für die mittlere Troposphäre und ca. $9,7 \cdot 10^{-3} \text{grad}^{-1}$ für die obere Troposphäre (siehe Tabelle 1). Das Resultat für das polare winterliche A_z -Maximum ist somit nur durch eine geringere Massenverteilung in der oberen Troposphäre zu interpretieren (mit ca. $3 \cdot 10^6$ Joule pro m^2 erreicht die obere Troposphäre nur die Hälfte des A_z -Wertes des polaren winterlichen A_z -Maximums der mittleren Troposphäre).

Bei Vergleich der Werte der winterlichen polaren A_z -Maxima in der oberen und mittleren Troposphäre mit dem Wert gültig für die Planetarische Grenzschicht ($3 \cdot 10^6$ bzw. $6 \cdot 10^6$ Joule pro m^2 verglichen mit $11 \cdot 10^6$ Joule pro m^2) zeigt sich die Überlegenheit im Wert der Planetarischen Grenzschicht trotz einem für die Planetarische Grenzschicht auf nahezu die Hälfte reduzierten Stabilitätsfaktor γ .

Das absolute energetische A_z -Minimum findet sich auch in der oberen Troposphäre für den Winter nahe von 35°N und für den Sommer in ca. 45°N .

Das äquatoriale winterliche A_z -Maximum von ca. $1,2 \cdot 10^6$ Joule pro m^2 reduzierte sich zum Sommer auf einen A_z -Wert von ca. $0,2 \cdot 10^6$ Joule pro m^2 und ist hier im sommerlichen Zeitraum nicht mehr als äquatoriales A_z -Maximum zu bezeichnen (höchster Wert bei ca. 15°N). Für den Herbst erfolgt im äquatorialen Bereich eine ständige monatliche A_z -Erhöhung bis auf das o.a. winterliche A_z -Maximum.

Von der winterlichen (Januar) Gesamtsumme von A_z ($12,809 \cdot 10^{20}$ Joule) befinden sich nurmehr 18,2 % innerhalb der oberen Troposphäre. Im Sommer ($2,872 \cdot 10^{20}$ Joule) sind es entsprechend 26,6 %.

Dies demonstriert deutlich, daß in diesen oberen Niveaus (siehe Abb. 1 bis 12) die A_z -Beträge relativ klein bleiben.

Abb.24. Mittlere Troposphäre (800 bis 400mb):
Variation der Menge von A_z mit der geographischen Breite
(5 Breitengradzonen) und für alle 12 Monate des Jahres
in Einheiten von 10^6 Joule pro m^2 .

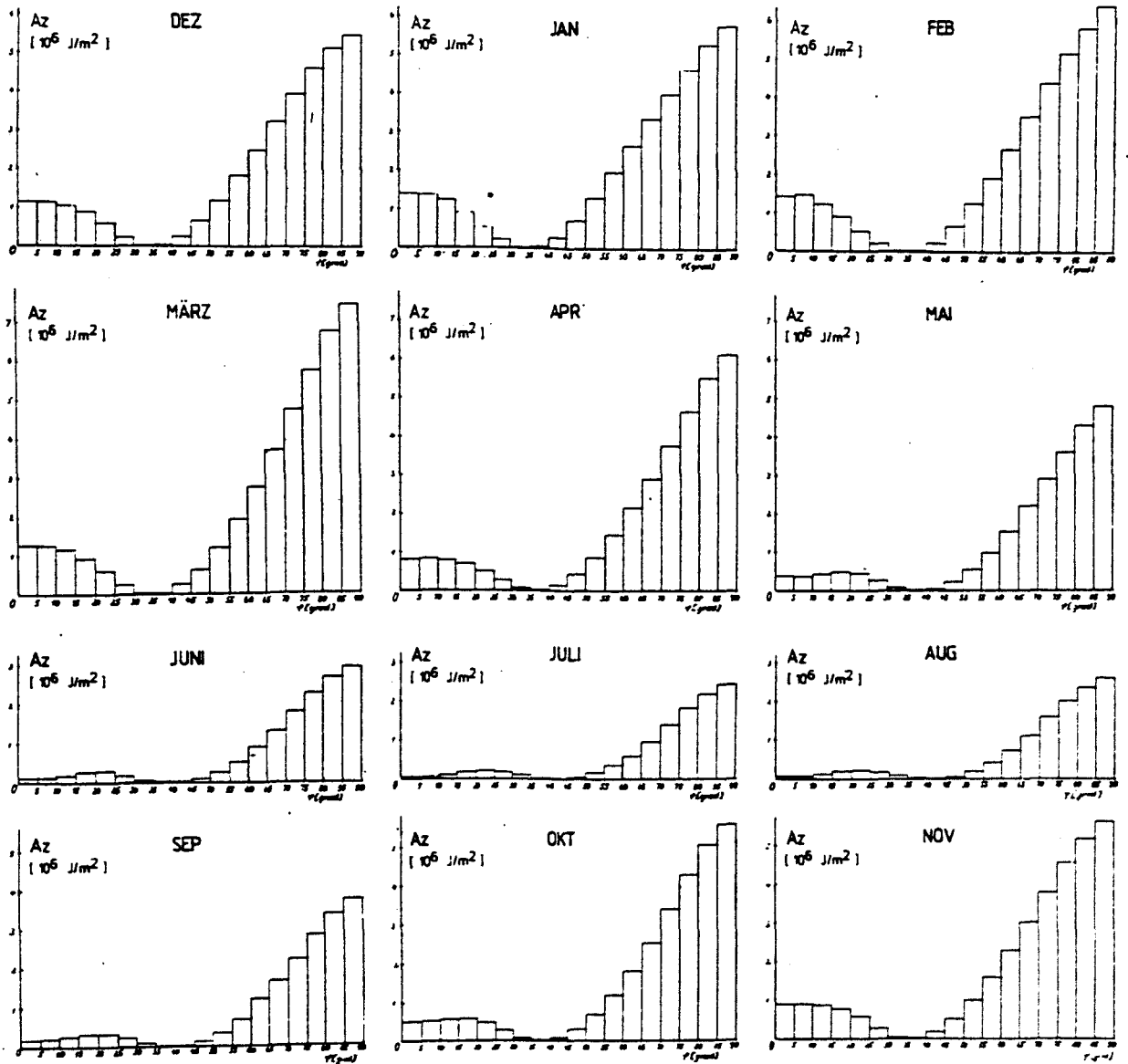
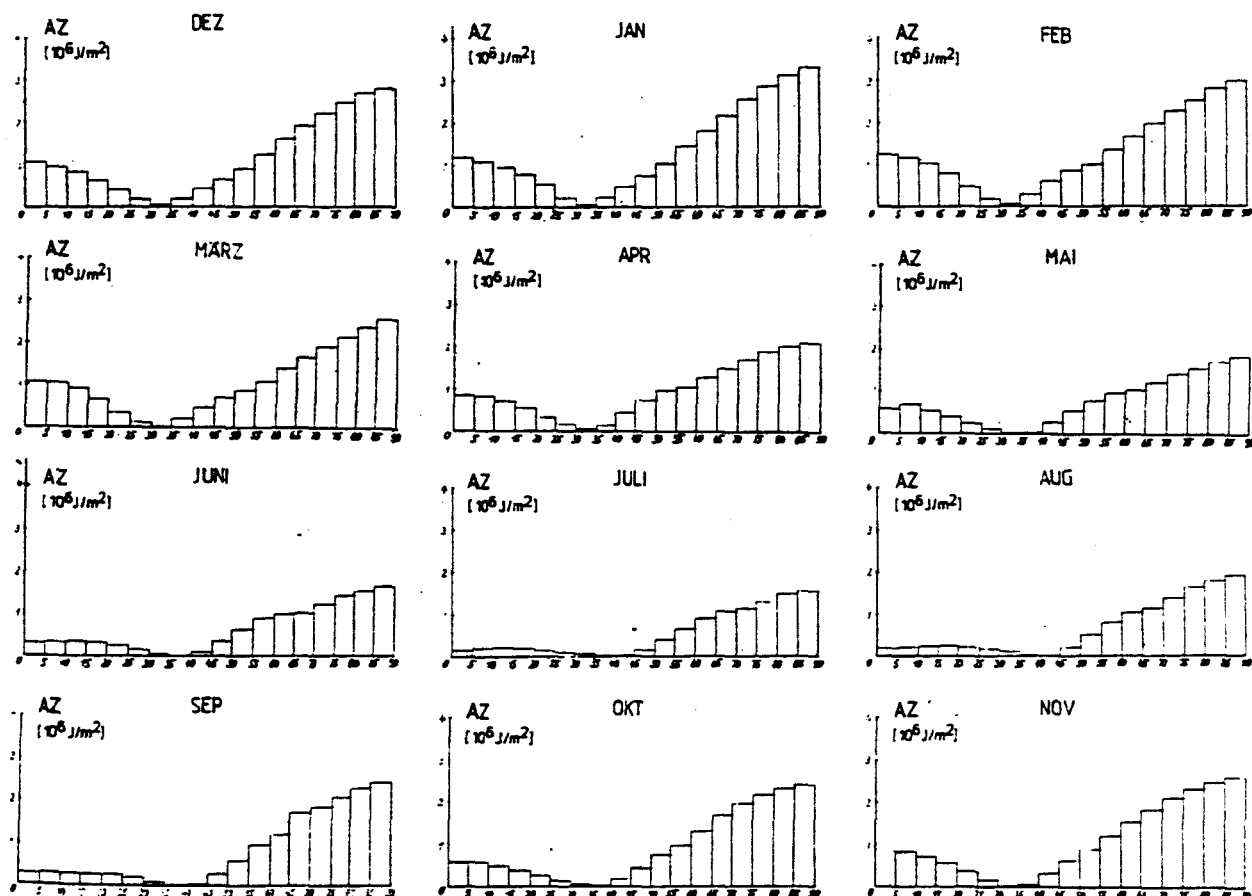


Abb.25. Obere Troposphäre (Jet-Niveau, 400 bis 140mb):
Variation der Menge von A_z mit der geographischen Breite
(5 Breitengradzonen) und für alle 12 Monate des Jahres
in Einheiten von 10^6 Joule pro m^2 .

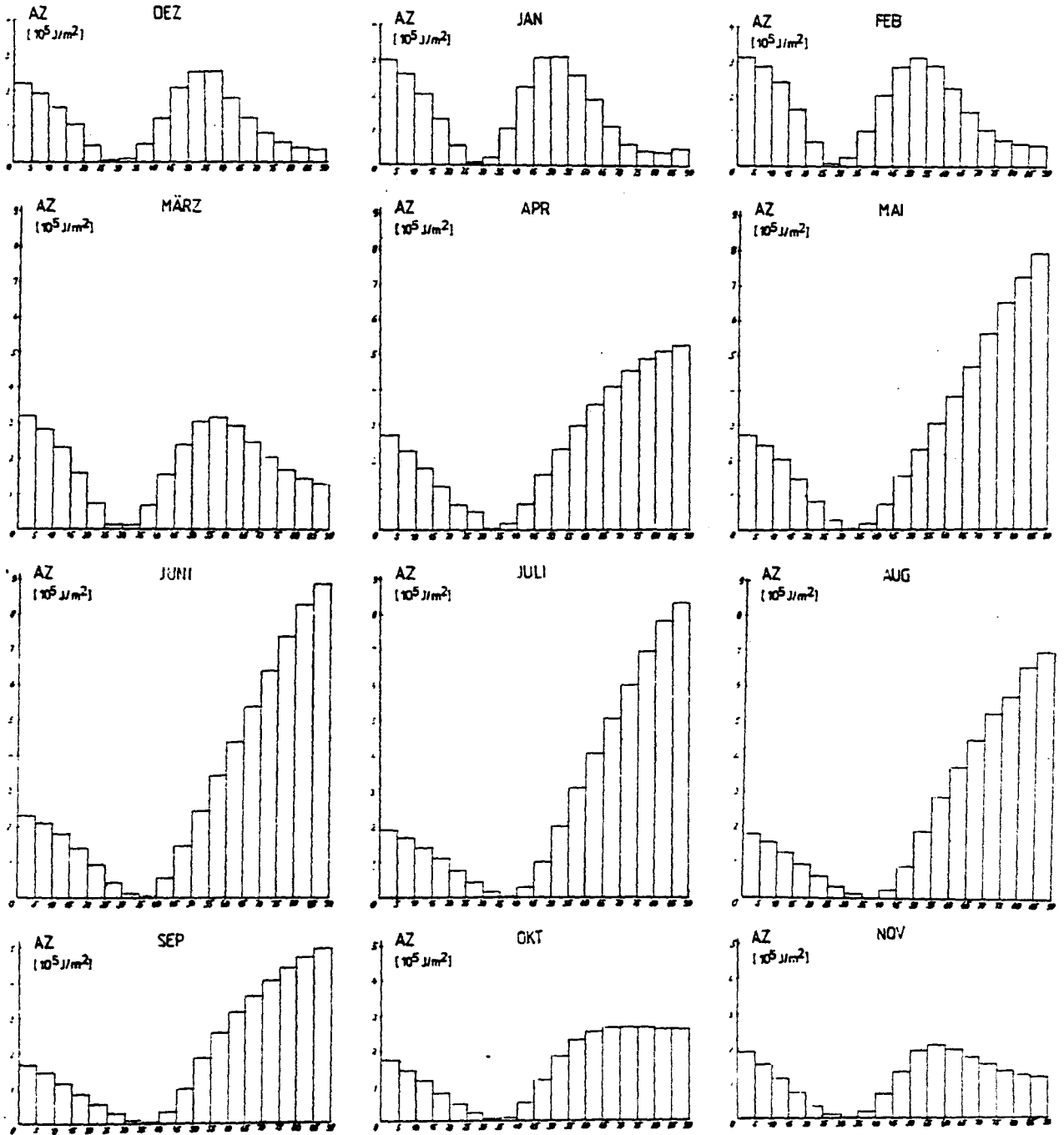


Der untere Teil der unteren Stratosphäre (140 bis 50 mb)

Die Abb. 26 zeigt die A_z -Variation mit der Breite für den unteren Teil der unteren Stratosphäre, in welcher nun zur besseren graphischen Darstellbarkeit die Einheit 10^5 Joule pro m^2 gewählt wurde. Auffallend für die winterliche Periode ist die nun gegenüber den früher besprochenen Stockwerken veränderte A_z -Struktur: Das in den bereits diskutierten meteorologischen Schichten dominierende winterliche polare A_z -Maximum verlagert sich bis ca. $50^\circ N$ südwärts (etwa $3,1 \cdot 10^5$ Joule pro m^2). Dieses winterliche A_z -Maximum bei ca. $50^\circ N$ wird verursacht durch einen in der mittleren unteren Stratosphäre zwischen $30^\circ N$ und $50^\circ N$ existierenden relativ großen meridionalen Temperaturgradienten von ca. $15^\circ C$ (Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_θ nach Formel (3.15)). Die Reduktion auf Einheiten von nur 10^5 läßt sich durch eine in diesem Niveau recht deutlich reduzierte Massenverteilung sowie einem hier ebenfalls relativ geringen Stabilitätsfaktor γ (von nur noch weniger als die Hälfte seines troposphärischen Wertes) interpretieren. Dieses winterliche A_z -Maximum war schon bei der Präsentation der langfristig gemittelten meridionalen A_z -Profile in den Abbildungen 12, 1, 2 nahe der 100 mb-Fläche über $50^\circ N$, also in exakter lokaler Konformität auffindbar. Dieses winterliche A_z -Maximum nahe von $50^\circ N$ verlagert sich während des Frühlings bis zum Sommer (Juli) bis zum Pol hin und hat entsprechend dem jetzt existierenden sommerlichen Temperaturgradienten zwischen $37,5^\circ N$ und dem Pol selbst von fast $20^\circ C$ (Gegenbaroklinität der Stratosphäre) ein verstärktes A_z -Maximum von ca. $8,5 \cdot 10^5$ Joule pro m^2 zur Folge. Vom Sommer bis zum Winter hin vollzieht sich im Herbst die durch den jeweiligen Temperaturgradienten bedingte Verschiebung des A_z -Maximums in völliger Analogie.

Das äquatoriale winterliche A_z -Maximum von ca. $3 \cdot 10^5$ Joule pro m^2 reduziert sich in dieser Schicht auf den entsprechenden Sommerwert von etwa $2 \cdot 10^5$ Joule pro m^2 . Diese relativ geringe A_z -Variation resultiert aus der ebenfalls relativ geringen meridionalen Variation der winterlichen bzw. sommerlichen Temperaturgradienten zwischen dem äquatorialen und subtropischen Breitenbereich. Diese soeben diskutier-

Abb.26. Unterer Teil der unteren Stratosphäre (140 bis 50mb):
Variation der Menge von A_z mit der geographischen Breite
(5 Breitengradzonen) und für alle 12 Monate des Jahres in
Einheiten von 10^5 Joule pro m^2 .



ten meridionalen winterlichen bzw. sommerlichen Temperaturgradienten repräsentieren in den zuvor beschriebenen Positionen die winterlichen bzw. sommerlichen Abweichungen vom Temperaturflächenmittel T_e gemäß Formel (3.15).

Der prozentuale Anteil von A_z , enthalten im unteren Teil der unteren Stratosphäre (140 - 50 mb) an jenem der gesamten Atmosphäre im Winter, beträgt nur etwa 3,2 %, während der entsprechende Anteil im Sommer immerhin 15 % ausmacht.

Der obere Teil der unteren Stratosphäre (50 bis 10 mb)

Die Abb. 27 präsentiert die A_z -Variation mit der Breite im oberen Teil der unteren Stratosphäre in der weiter reduzierten Einheit 10^4 Joule pro m^2 .

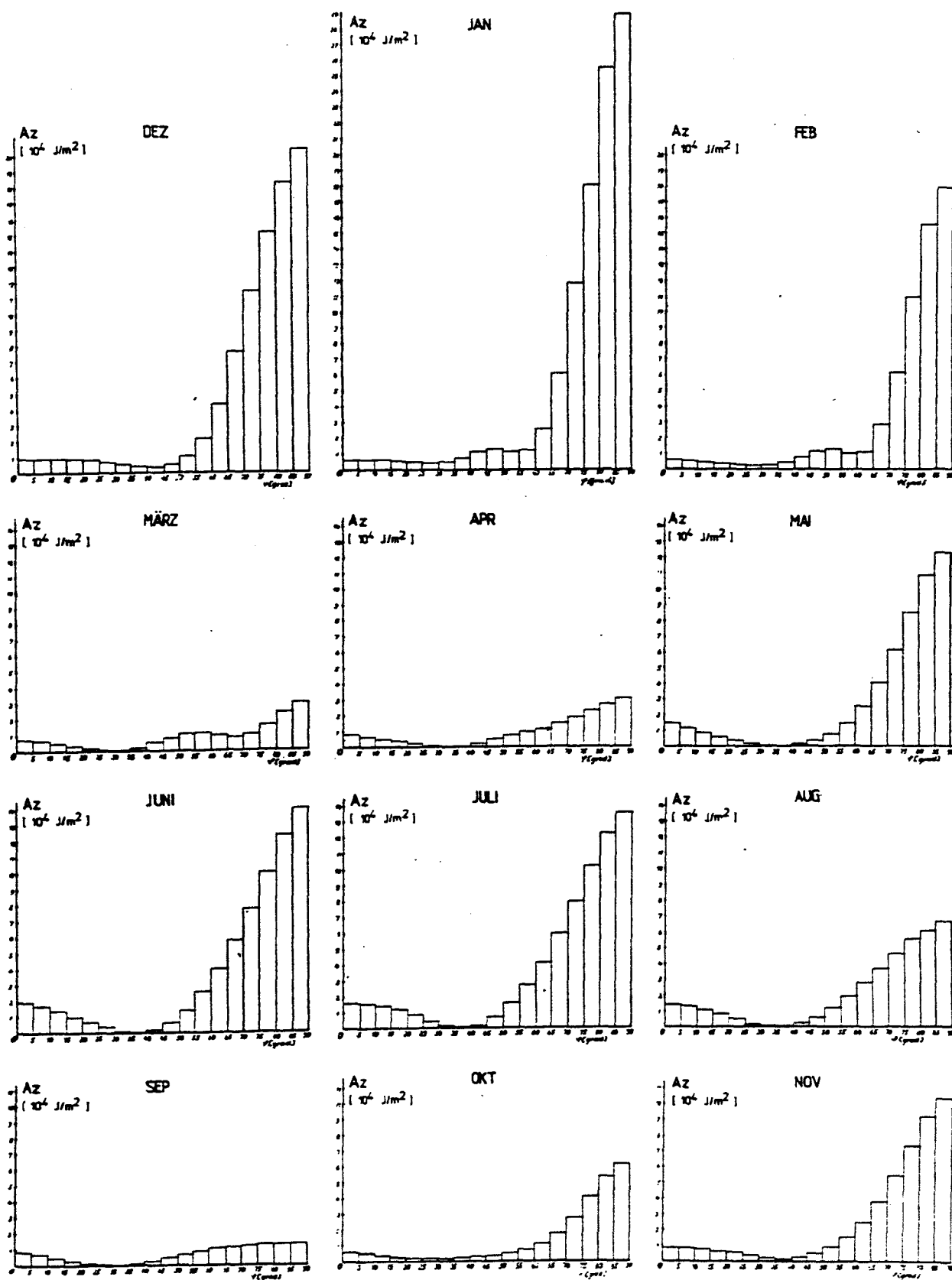
Ein für den winterlichen Zeitraum (für Monat Januar) sehr stark dominierendes polares A_z -Maximum mit ca. $29 \cdot 10^4$ Joule pro m^2 wird hier verursacht durch den für diese Schicht relativ starken meridionalen Temperaturgradienten von ca. 22°C zwischen 30°N und dem Pol. Dieser meridionale Temperaturgradient bewirkt hier in diesem Niveau den winterlichen polaren Nachtjet (thermische Windgleichung) und stellt, da er auf 30°N bezogen ist (hier existiert das winterliche absolute energetische A_z -Minimum), ein Maß für die Abweichung vom Temperaturflächenmittel T_e dar.

Nach einer Reduktion des winterlichen polaren A_z -Maximums auf einen minimalen A_z -Wert im Frühling mit nur $3 \cdot 10^4$ Joule pro m^2 , weist das sommerliche polare A_z -Maximum wieder einen relativ großen Wert von fast $14 \cdot 10^4$ Joule pro m^2 auf. Nach einer erneuten Wertereduktion zu einem herbstlichen A_z -Minimum hin von nur ca. $1 \cdot 10^4$ Joule pro m^2 erfolgt gegen den Winter wieder eine Wertezunahme.

Für die äquatoriale A_z -Variation im Jahresablauf zeigt die sommerliche Periode ein relativ geringes A_z -Maximum von ungefähr $2 \cdot 10^4$ Joule pro m^2 ; dies entspricht einer guten Übereinstimmung der ebenfalls geringen Variation des meridionalen winterlichen bzw. sommerlichen Temperaturgradienten vom Äquator bis hin zur Zone des absoluten energetischen A_z -Minimums.

Abb.27. Oberer Teil der unteren Stratosphäre (50 bis 10mb):
 Variation der Menge von A_z mit der geographischen Breite
 (5 Breitengradzonen), und für alle 12 Monate des Jahres in
 Einheiten von 10^4 Joule pro m^2 .

-96-



Die im nördlichen Teilbereich der Atmosphäre oben beschriebene Doppelschwingung (Maxima im Winter und Sommer, Minima im Frühling und Herbst) in den A_z -Beträgen steht natürlich ursächlich mit der Umstellung der winterlichen Westwind- in eine sommerliche Ostwind-Zirkulation in Beziehung.

Die Beteiligung dieser Schicht am Gesamtbetrag von A_z bleibt sehr klein (im Winter nur 0,4 %, im Sommer 1,6 %).

Die Abbildung 28 präsentiert die A_z -Variation im Ablauf des Jahres innerhalb der Troposphäre für die drei durch die Subtropenfront und die Polarfront voneinander getrennten Luftmassenbereiche: Polarluft (PL), gemäßigte Luftmasse (ML) und die Tropikluft (TL) in absoluten Einheiten (Joule) sowie in Joule pro m^2 (siehe dazu die Breitengradvariation jedes Bereiches, separat für alle Monate nach Fr. DEFANT oder auch Tabelle 8).

4.4. JAHRESGANG DER MENGE VON A_z INNERHALB DER DREI HAUPTLUFTMASSENBEREICHE (POLARLUFTBEREICH (PL), BEREICH DER GEMÄSSIGTEN LUFT (ML), TROPIKLUFTBEREICH (TL)) DER TROPOSPHÄRE DER NORDHALBKUGEL

Polarluftbereich

Die A_z -Struktur (siehe Abb. 1 bis 12) mit ihren winterlichen troposphärischen Maxima ist völlig analog zu den dann existierenden höchsten Abweichungen vom Temperaturflächenmittel T_e (Formel (3.15)). Die winterlichen A_z -Maxima erreichen im polaren Bereich in der Polarluft einen ungefähren Summenwert von $5,5 \cdot 10^{20}$ Joule (siehe Abb. 28).

Der sommerliche Zeitraum (Juli) mit dem A_z -Minimum von ca. $0,7 \cdot 10^{20}$ Joule ist gleichfalls in guter Übereinstimmung mit den im Sommer geringsten Temperaturabweichungen vom Flächenmittel T_e und der geringe A_z -Wert ist auch konform mit der flächenmäßig kleinsten sommerlichen Ausdehnung des Polarluftbereiches.

Obwohl die flächenmäßige Ausdehnung des Polarluftbereiches natürlich im Winter am größten und im Sommer am kleinsten ist, so bleibt doch die relativierte A_z -Variation angegeben in der Einheit 10^{20} Joule pro m^2 in guter tendenzieller Übereinstimmung zur absoluten A_z -Variation, es wird nur die Jahresamplitude verkleinert.

Bereich der gemäßigten Luftmasse der mittleren Breiten

Die monatlichen Jahressummen von A_z im Bereich der gemäßigten Luft zeigen wenig Änderung von Monat zu Monat (wenig ausgeprägter Jahresgang) und quantitativ sind die Mengen viel kleiner als im Polarluftbereich (meist $< 1 \cdot 10^{20}$ Joule). In diesem mittleren Breitenbereich ist A_z von stark reduzierter Größe (siehe Abb. 1 bis 12), was andeutet, daß dort nur geringe Abweichungen der Temperatur vom Flächenmittelwert T_e auftreten. Die auf die Flächeneinheit bezogene Kurve (siehe Abb. 28, unteres mittleres Bild) zeigt einen nahezu gleichen Verlauf, weil sich die Ausdehnung des Bereiches der gemäßigten Luft von Monat zu Monat nur geringfügig ändert (siehe Tabelle 8), wohl aber verschiebt sich dieser Bereich im Jahresablauf mit der Breite.

Tropikluftbereich

Die Abbildung 28 - beide Bilder rechts - präsentiert die jährliche A_z -Variation innerhalb des Tropikluftbereiches und ist nahezu identisch mit dem Jahresgang im Polarluftbereich.

Die auf die Flächeneinheit bezogene Kurve (siehe Abb. 28, rechts unten) zeigt zwar eine ähnlich große Jahresvariation, aber die Werte werden verglichen mit der analogen Kurve des Polarluftbereiches wegen der großen Fläche, welche der Tropikluftbereich besetzt, stark reduziert.

Berechnet man noch für die einzelnen Monate des Jahres den jeweiligen prozentualen Anteil, welchen jeder der drei Hauptluftmassenbereiche am Gesamtenergiebetrag von A_z der Troposphäre (siehe Tabelle 6, Summe der Spalten 4 und 5) für sich in Anspruch nimmt, so gewinnt man die folgenden Erkenntnisse:

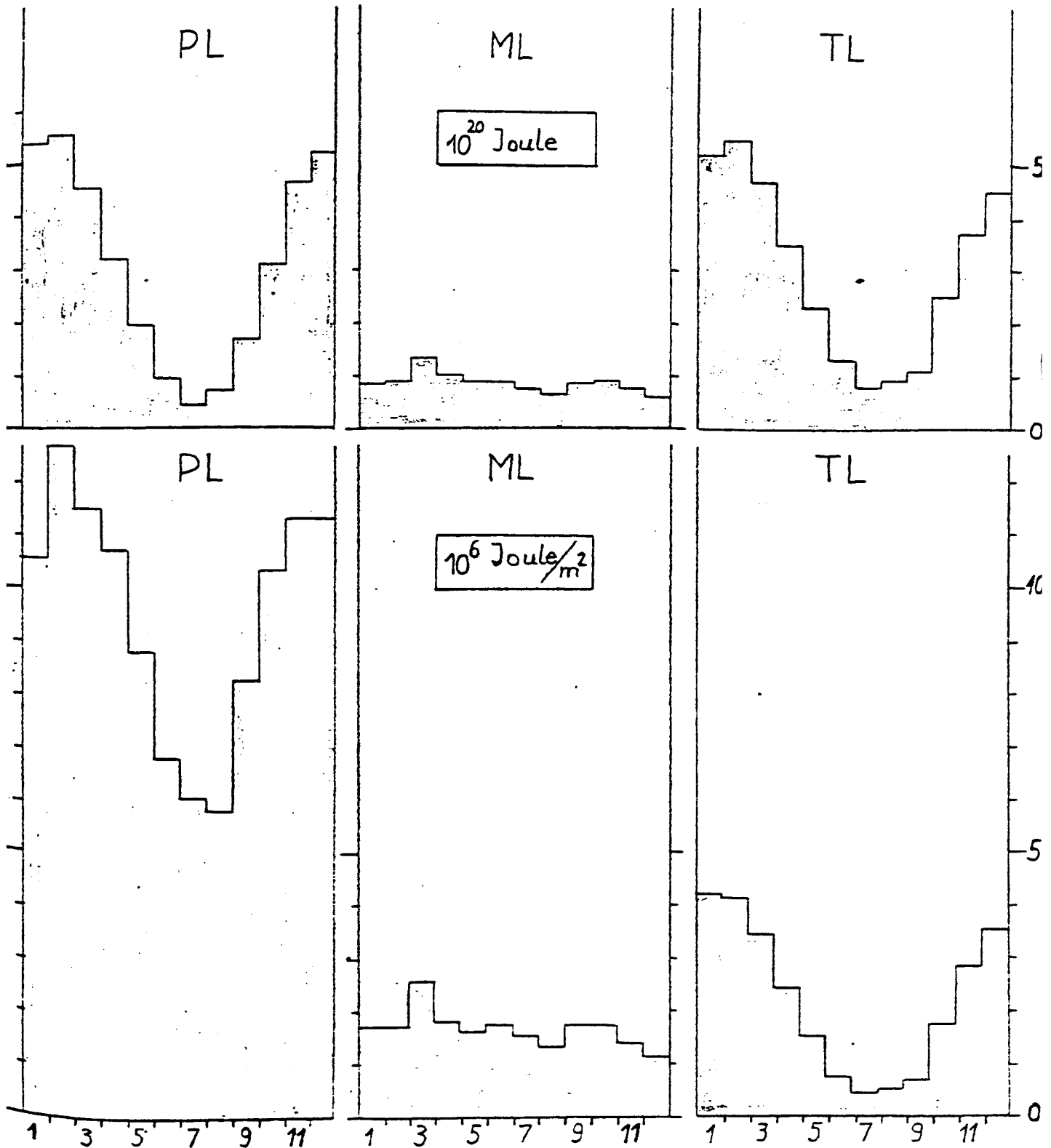
Der Polare Bereich (PL) besitzt im Winter mit etwa 45 % den maximalen, im Sommer mit 18 % den minimalen Anteil. Der gemäßigte Luftbereich (ML) zeigt im Gegensatz den maximalen Anteil (ca. 30 %) im Sommer und den minimalen im Winter (im Dezember 5 bis 6 %). Allgemein bleiben seine Anteile mit Ausnahme des August wesentlich kleiner als jene gültig für den Polaren Bereich.

Abb.28.

Jahresgang der Menge von A_z in den drei Hauptluftmassenbereichen der Troposphäre der Nordhalbkugel.

Obere Bilder in Einheiten von 10^{20} Joule.

Untere drei Bilder in Einheiten von 10^6 Joule pro m^2 .



Was den Tropischen Luftbereich angeht, so sind die maximalen Anteile in den Wintermonaten (ca. 40 bis 43 %) und die minimalen treten im September auf (ca. 25 %).

Addiert man die prozentualen Anteile aller drei Bereiche und ergänzt auf 100 %, so erhält man jenen prozentualen Anteil, welcher beiden Hauptfronten zukommt. Da beide Fronten über den mittleren Breiten im Winter situiert sind (Subtropenfront bei ca. 30 bis 34°N, Polarfront bei etwa 49 bis 53°N), ist der prozentuale Anteil beider Fronten mit ca. 4 bis 5 % im Winter am geringsten. Dann verlagern sich beide Fronten bis zum Juli stark nordwärts zu größeren A_z -Beträgen hin (siehe Abb. 1 bis 12) und ihr prozentualer Anteil an der troposphärischen Gesamtmenge nimmt auf ca. 20 % zu.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit, welche sich mit der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z beschäftigt, versucht, über diese Energieform durch Verwendung eines sorgfältig erstellten Materials von über 10 Jahre gemittelten Lufttemperaturen eine möglichst erschöpfende und mengenmäßig detaillierte Auskunft zu geben. Die Untersuchung betrifft alle 12 Monate des Jahres und geht somit in eingehender Weise auf den Jahresgang dieser Energieform ein.

Parallel zu dieser Untersuchung lief eine ähnlich geartete ab, welche die zonale kinetische Energie K_z bearbeitete (siehe H. STRUNK "Die zonale kinetische Energie des planetarischen Wirbels und ihre jährliche Variation", Diplomarbeit, Institut für Meereskunde, 1980).

Beide Arbeiten streben an, für kommende weltweite energetische Zirkulationsstudien ein gesichertes Grundlagenmaterial zur Verfügung zu stellen.

Die bis zum jetzigen Zeitpunkt existierenden Darstellungen von A_z und K_z , präsentiert in verschiedenen Veröffentlichungen, beruhen auf Daten, gemittelt über wesentlich kürzere Zeiträume (etwa 1 bis 3 Jahre) und beschränken sich auf jahreszeitliche A_z - und K_z -Verteilungen. Auch ist die vertikale Erstreckung nur in den Meridionalschnitten, welche NEWELL und Mitarbeiter präsentiert haben, auf die untere Stratosphäre ausgeweitet, während die übrigen Meridionalschnitte dieser beiden Energieformen nur aufwärts bis zur 100 mb-Fläche reichen.

Die in der vorliegenden Untersuchung aufgezeigten Ergebnisse betreffen die folgenden wichtigen Hauptpunkte:

Die Präsentation von 12 mittleren meridionalen Schnitten von A_z separat für jeden Monat des Jahres. Diese Schnitte erstrecken sich vom Äquator bis zum Nordpol (also betreffen nur die Nordhalbkugel) und erstrecken sich in vertikaler Richtung vom Erdboden aufwärts bis zur 10 mb-Fläche (etwa

30 km-Höhe).

Diese Verteilungen von A_z zeigen in der Troposphäre große Werte über den hohen Breiten und wiederum maximale Werte, jedoch verglichen mit den polaren, kleinere über den niedrigen Breiten der Nordhalbkugel. Getrennt sind diese Maximalbereiche durch einen Bereich minimaler Beträge über den südlichen mittleren Breiten (Nulllinie im Winter bei ca. 35°N , im Sommer bei ca. 45°N). Der gesamte troposphärische Bereich wird in allen Monaten des Jahres durch eine horizontal ausgerichtete Nulllinie nahe der 200 mb-Fläche nach oben hin begrenzt. Im unteren Teil der unteren Stratosphäre nahe der 100 mb-Fläche stellen sich wieder über den polaren und tropischen Breitenbereichen maximale Beträge von A_z ein, die aber meist kleiner als jene in der Troposphäre ausfallen. Dabei ist noch zu bemerken, daß in diesem Teil der Atmosphäre das Maximum über den polaren Breiten in der Winterszeit weit südwärts verlagert erscheint und sich nur im Sommer auf die hohen Breiten nahe dem Pol konzentriert. Der obere Teil der unteren Stratosphäre zeichnet sich oberhalb von etwa 50 mb meist durch geringe Beträge von A_z aus; nur in der Winterszeit (von Oktober bis Februar einschließlich), treten in den hohen Breiten im Zusammenhang mit der starken Auskühlung der Stratosphäre größere Werte von A_z auf, welche im Januar direkt über dem Pol am größten sind (siehe Abb. 1 bis 12).

Nachdem diese 12 Schnitte zur Verfügung standen, wurde eine in meridionaler Richtung als auch in vertikaler Richtung variable Flächenintegration durchgeführt. Der Zweck dieses Vorgehens war, gesicherte quantitative Beträge von A_z in der Einheit 10^{20} Joule zur Verfügung zu stellen. In einem ersten Schritt wurden solche Energiemengen von A_z für die gesamte Atmosphäre für jeden Monat separat berechnet. Es ergab sich ein starker Jahresgang mit dem Maximum im Februar (etwa $13 \cdot 10^{20}$ Joule). Dann wurden gleiche Jahresgänge separat für die Troposphäre und die untere Stratosphäre bestimmt, wobei die troposphärischen Mengen einen ähnlich starken Jahresgang zeigen und die stratosphärischen Mengen recht klein bleiben (etwa nur 7 % der troposphärischen Werte). Der Jah-

resgang in der Stratosphäre bleibt recht klein. In einem weiteren Schritt wurde der gesamte atmosphärische Bereich in einen solchen mit Westwinden und in einen weiteren mit Ostwinden zerteilt. Für beide Bereiche ergab sich ein relativ starker Jahresgang, der im Westwindbereich stärker ausgeprägt ist (Differenz zwischen Maximum und Minimum etwa 7 Einheiten, im Ostwindbereich nur etwa 4 Einheiten). Eine noch genauere Unterteilung betraf im weiteren Vorgehen West- und Ostwindbereich, aber nunmehr getrennt für die Troposphäre und die untere Stratosphäre. Als Trennung diente dabei - wie vorstehend - die exakte Lage der Tropopause in den einzelnen Monaten. Für die Troposphäre ergaben sich dabei wieder ausgeprägte Jahresgänge für den West- und Ostwindbereich, wobei der erstere abermals dominant war. Hingegen ergab sich für die Stratosphäre nur ein mäßig ausgeprägter Jahresgang mit dem Maximum im Winter und dem Minimum im Sommer (Amplitude nur $0,2 \cdot 10^{20}$ Joule). Für den stratosphärischen Ostwindbereich ergab sich ein inverser Gang mit dem Maximum im Sommer und dem Minimum im Winter, jedoch blieb die Amplitude auch hier recht klein (etwa $0,15 \cdot 10^{20}$ Joule). Dieses schloß dann eine Orientierung über Gesamt mengen von A_z zusammen mit ihrem Jahresgang ab (siehe Abb. 13 bis 21).

In einem weiteren Großkapitel wurde nun die meridionale Integration verfeinert, wobei jetzt im Unterschied zur früheren nicht mehr vom Äquator bis zum Pol integriert wurde, sondern für einzelne Breitenzonen von 5 Breitengraden Weite. Dies lieferte nun eine mengenmäßige Angabe für A_z als Funktion der Breite. Solche Verteilungen wurden sowohl für die gesamte Atmosphäre in der Vertikalen, als auch für 5 separate in der Vertikalen meteorologisch sinnvoll gewählte Stockwerke der Atmosphäre der Nordhalbkugel vorgelegt. Wie schon aus den früheren Abb. 1 bis 12 erkennbar, ergaben sich für die troposphärischen Bereiche mengenmäßig die größten Beträge und eine starke Variation mit der Breite mit dominierenden Maxima in polaren und kleineren in den äquatorialen Breiten (siehe Abb. 22 bis 27).

Das letzte Kapitel der Untersuchung betrifft die durch die Subtropenfront und die Polarfront in der Troposphäre unterhalb der Tropopause abgrenzbaren drei Hauptluftmassenbereiche (Polarluftbereich (PL), Bereich mit gemäßigter Luft der mittleren Breiten (ML) und schließlich der Tropikluftbereich (TL)). Hier zeigen sich nahezu gleich geartete und große Jahresgänge im polaren und tropischen Bereich, deren Amplitude $5 \cdot 10^{20}$ Joule betragen. Im Bereich der gemäßigten Luft dagegen sind die Beträge über das ganze Jahr klein (kleiner eine Einheit) und der Jahresgang ist kaum erkennbar (siehe Abb. 28).

Im Zusammenhang mit der Arbeit von H. STRUNK über die zonale kinetische Energie des planetarischen Wirbels sollen noch einige Verhältniszahlen zwischen A_z und K_z präsentiert werden. Das Verhältnis zwischen dem Jahresmittel der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z zu dem von H. STRUNK errechneten korrespondierenden Wert für die kinetische Energie K_z beträgt:

$$\frac{A_z}{K_z} = \frac{98,19 \cdot 10^{20} \text{ Joule}}{1,66 \cdot 10^{21} \text{ Joule}} = 5,92 : 1$$

Dies bedeutet, daß die Atmosphäre selbst im Jahresmittel ein gewaltiges Reservoir (nahezu das Sechsfache) an zonal verfügbarer potentieller Energie A_z in sich birgt. Ähnlich große Verhältnisse A_z/K_z erhält man für Winter und Sommer. Ein noch eingehenderer Vergleich von A_z und K_z bleibt einer Veröffentlichung über die Ergebnisse beider Diplomarbeiten in einer Fachzeitschrift vorbehalten.

Schließlich soll noch etwas über die bisherigen in verschiedenen Veröffentlichungen präsentierten Ergebnisse für A_z mit jenen in der vorliegenden Untersuchung berichtet werden: Aus den Gesamtsummen von A_z separat für alle Monate des Jahres ergeben sich aus der vorliegenden Arbeit die folgenden Jahreszeitenmittelwerte, welche mit korrespondierenden

Werten von NEWELL und LORENZ verglichen werden (in Einheiten von 10^6 Joule pro m^2)

	NEWELL	LORENZ
Winter (Dez., Jan., Febr. : 3) : 49,2	49	51
Früh- ling (März, Apr., Mai : 3) : 37,2	38	37
Sommer (Juni, Juli, Aug. : 3) : 14,1	24	19
Herbst (Sept., Okt., Nov. : 3) : 29,3	32	30

Man erkennt, daß ein solcher Vergleich für den Winter, für den Frühling und Herbst recht zufriedenstellend ausfällt, nur für den Sommer ergeben sich größere Unterschiede. Dies ist sicherlich darauf zurückzuführen, daß die bessere Grundlage der Temperaturschnitte von Monat zu Monat einen sommerlichen Mittel-schnitt liefert, der besser ist als die bisherige Kenntnis.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- CRUTCHER, H.L. and J.M. MESERVE (1970), Selected Level Heights, Temperatures and Dew Points for the Northern Hemisphere, NAVAIR 50 - 1C - 52, Naval Weather Service Command, USA
- DEFANT, Fr. (1978), Compendium of Meteorology, Vol. I, Part 3 - Synoptic Meteorology, WMO - No 364
- DEUTSCHER WETTERDIENST, Datensatz (Aerologische Daten) der gesamten Nordhalbkugel des Deutschen Wetterdienstes, Dr. Dittmann (1968-1972)
- DINIES, E. (1968), Monatliche und jährliche Breitenkreismittel des Bodenluftdrucks auf der Nordhalbkugel für die Jahre 1899 bis 1967, Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 109, Bd. 15, S. 3-18
- LABITZKE, K. und Mitarbeiter (1969), Climatology of the Stratosphere in the Northern Hemisphere, Inst. f. Meteorologie u. Geophysik d. fr. Universität Berlin, Bd. 100/Heft 4
- LORENZ, E.N. (1967), The Nature and Theory of the General Circulation of the Atmosphere, WMO
- NEWELL, KIDSON, VINCENT, BOER (1974), The General Circulation of the Tropical Atmosphere, The MIT Press Cambridge, Massachusetts and London, England
- OORT, A.H. and E. RASMUSSEN (1971), Atmospheric Circulation Statistics, US Dep. of Commerce, NOAA, Professional paper 5, Rockville USA
- PELTE, R. (1970), Die jahreszeitliche Entwicklung der mittleren Temperatur- und Höhenverteilung sowie der mittleren Verteilung der verfügbaren potentiellen und kinetischen Energie der Atmosphäre der Kugelkappe nördlich 30°N (Mittel 1951 bis 1960), Diplomarbeit, Institut f. Meereskunde, Kiel
- SCHERHAG, R. und Mitarbeiter (1969), Inst. f. Meteorologie und Geophysik d. fr. Universität Berlin, Met. Abh., Bd. 100/Heft 1
- WMO / OMM (1965), No 170, T.P. 84